ETUDE DE POTENTIEL

Etudes du potentiel d'installation d'unités de biométhanisation sur le territoire du Pays Burdinale Mehaigne

Pour le compte de :

La Maison de la Mehaigne et de l'Environnement Rural

Fonds européens agricole pour le développement rural (FEADER) : l'Europe investit dans les zones rurales.

Greenwatt
Avenue Jean Monnet, 1
B-1348 Louvain-la-Neuve
www.greenwatt.be 010/77.91.00

SOMMAIRE

..... 1
SOMMAIRE..... 3
A. OBJECTIF ET DEROULEMENT DE L'ETUDE 3
A.1. Cadre général..... 3
A.2. Déroulement de l'étude 3
A.3. Mise en situation 3
B. INFORMATIONS GENERALES..... 4
B.1. Le Pays Burdinale Mehaigne..... 4
B.2. Station de biométhanisation..... 5
B.2.1. Fonctionnement 5
B.2.2. Modèles économiques 6
B.2.3. Exemple 6
C. ETUDES DES RESSOURCES EN SUBSTRATS METHANISABLES..... 7
C.1. Agriculture..... 7
C.1.1. Coproduits de grandes cultures..... 8
C.1.2. Cas des CIPAN 15
C.2. Elevage 16
C.3. Divers agricoles 17
C.4. Entreprises 18
C.5. Répartition du potentiel énergétique brut entre les substrats..... 19
D. ETUDES DES BESOINS ENERGETIQUES 20
D.1. Agriculture..... 21
D.2. Entreprises 21
D.3. Bâtiments et commerces..... 22
E. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE..... 24
E.1. Le projet Biogaz du Haut Geer 24
E.2. Ressources en substrats..... 26
E.3. Besoins énergétiques..... 27
F. STATION DE BIOMETHANISATION 27
F.1 Revalorisation du biogaz..... 28
F.1.1. Réinjection du biogaz sur le réseau..... 28
F.1.2. Cogénération 30
F.2. Revalorisation des digestats 30
F.2.1. Utilisation du digestat comme engrais de cultures bio 30
G. DIMENSIONNEMENT 31
G.1. Quantités de substrats mobilisables..... 31
G.2. Répartition des potentiels des différents gisements mobilisables 33
G.3. Disponibilité des substrats..... 34
G.4. Localisation des substrats et des consommateurs d'énergie 34
G.5. Scenarii potentiels d'installation de biométhanisation..... 35
G.5.1. Cas n°1 : La prison de Marneffe 35
G.5.2. Cas n°2 : L'entreprise Ter Beke, la piscine et le hall sportif..... 38
G.5.3. Cas n°3 : L'entreprise Avieta 40
G.5.4. Cas n°4 : Une station supplémentaire..... 42

H. SYNTHESE 44
I. BIBLIOGRAPHIE 45
J. ANNEXES 45

A. OBJECTIF ET DEROULEMENT DE L'ETUDE

A.1. Cadre général

Cette étude de potentiel a pour but d'apporter à la Maison de la Mehaigne des pistes techniques, économiques, réglementaires et environnementales permettant de déterminer le potentiel du Pays Burdinale Mehaigne à accueillir un/des projet(s) de méthanisation.

A.2. Déroulement de l'étude

Interlocuteur Maison de la Mehaigne et de l'environnement rural (MMER) : Frédéric PRAILLET
Interlocuteurs Bureau d'études : Jérémy VERHELST et Aurore LEFEBURE
Le comité d'accompagnement est composé de :
-Mr Gaëtan-François de plaen du Parc Naturel Burdianle Mehaigne,
-Mr Hubert Dufontbaré, administrateur délégué GAL,
-Mme Françoise Hogge, de la Maison de la Mehaigne et de l'environnement rural,
-Mr Philippe Laroche, appui technique GAL,
-Mr Christian Marche, CTA,
-Mme Nathalie Meurice, DGO4,
-Mme Christelle Mignon, Valbiom,
-Mme Annick Samyn, Province de Liège – Enerbiom et
-Mme Vanessa Sublet, FRW.

Lancement de l'étude : Avril 2012
Réunion de présentation de l'étude : Semaine du 5 Novembre 2012
Présence : Bureau d'étude, Maître d'ouvrage, Constructeur GreenWatt.

L'étude a été réalisée en collaboration avec :
GreenWatt : Constructeur d'unité de méthanisation permettant le traitement de coproduits végétaux seuls sans apport de déchets extérieurs aux sites agro/agri-industriels.

Frédéric Praillet : Chargé de mission LEADER de l'ASBL Maison de la Mehaigne et de l'environnement rural.

Le présent rapport de cette étude est remis sous format papier et sous format électronique à Mr Frédéric Praillet.

A.3. Mise en situation

Frédéric Praillet a réalisé une étude de potentiel en octobre 2011 sur la valorisation énergétique des sous-produits agricoles. Un aspect de cette étude a concerné le développement d'une filière courte de production de combustible sous forme de briquettes ou de pellets, à base de tourteaux de colza et d'autres ressources de biomasse locales, qui pourrait être utilisé par les particuliers (chaudières, poêles, cogénération), les collectivités et/ou les entreprises locales.
Plusieurs freins ont été diagnostiqués par Frédéric Praillet à la mise en place d'un tel projet : émissions polluantes provoquées par la combustion d'agro-combustibles solides, nécessité d'utiliser des chaudières « poly-combustibles » adaptées uniquement à des gros consommateurs, volumes de surplus de sous-produits agricoles en plus faibles quantités que ce qui avait été estimé initialement, nécessité d'une prise en compte des besoins de paille au niveau régional, plaidoyer de plusieurs acteurs de terrain en faveur d'un retour du carbone au sol et enfin, manque de rentabilité de la filière.

Par contre, plusieurs éléments avaient montré un intérêt particulier de la biométhanisation :
-Valorisation possible des effluents d'élevage,
-Retour du carbone au sol,

-Possibilité d'utiliser d'éventuels surplus de paille,
-Valorisation potentielle des feuilles de betteraves,
-Partenaires potentiels proches du territoire,
-Intérêt manifesté par les acteurs locaux.
Au vu de ces éléments, la présente étude a été initiée afin de déterminer le potentiel de la région pour la biométhanisation.

B. INFORMATIONS GENERALES

B.1. Le Pays Burdinale Mehaigne

Le Pays Burdinale Mehaigne est composée de quatre communes : Braives, Burdinne, Héron et Wanze, situées dans l'ouest de la province de Liège.

***Figure n°1** : Situation du Pays Burdinale Mehaigne par rapport aux grosses villes proches.*

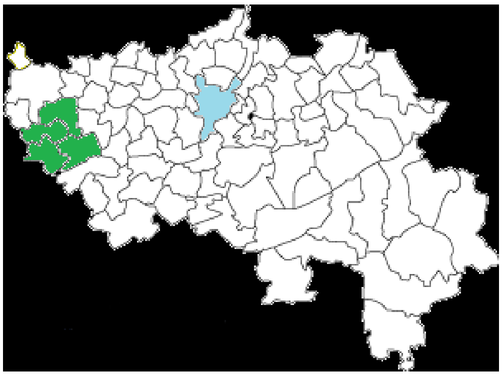


***Figure n°2** : Situation des quatre communes du Pays Burdinale Mehaigne –en vert- par rapport à Liège - en bleu- au sein de la province de Liège.*

La région de la Mehaigne tire son nom du cours d'eau du même nom qui traverse la région et va se jeter dans le Meuse. Ci-contre, une représentation schématique de la région de la Mehaigne avec ses 4 communes.

Ces quatre communes font partie de la région de la Hesbaye.

Figure n°3 *: Les quatre communes du Pays Burdinale Mehaigne.*

La Hesbaye est une région naturelle de la Moyenne Belgique, située au nord de la Meuse en région limoneuse. Cette région est caractérisée par l'ampleur des horizons découverts, par l'absence de massif forestier, par la concentration de l'habitat et l'importance de la couverture limoneuse qui fait la richesse des cultures pratiquées (principalement betteraves sucrières et céréales). On la surnomme d'ailleurs "grenier à blé de la Belgique".

Afin d'évaluer la possibilité d'installer une unité de biométhanisation dans le Pays Burdinale Mehaigne, il sera décrit, d'une part, les différents producteurs de substrats potentiellement méthanisables et d'autre part, les différents consommateurs d'énergie (électrique et thermique). De cette manière, il sera possible de mettre en avant les différents scénarii rentables entre producteur et consommateur.
Après avoir listé les acteurs éventuels de cette station, leur localisation géographique sera étudiée afin de déterminer les endroits les plus stratégiques.

Braives est une commune de 5.500 habitants, reprenant les villages de Latinne, Tourinne, Fumal, Avennes, Ciplet, Fallais, Ville-en-Hesbaye et Braives.

Burdinne est une commune de 2.900 habitants, reprenant les villages de Hannêche, Lamontzée, Oteppe (Vissoul), Marneffe et Burdinne.

Héron est une commune de 4.460 habitants, reprenant les villages de Couthuin, Lavoir, Waret-l'Evêque et Héron.

Wanze est une commune de 13.000 habitants, reprenant les villages de Huccorgne, Moha, Vinalmont, Antheit, Bas-Oha et Wanze ainsi que le hameau de Longpré.

Les communes de Braives, Burdinne et Héron sont des zones relativement agricoles alors que Wanze possède de nombreuses entreprises ainsi qu'une densité de population plus importante.

B.2. Station de biométhanisation

B.2.1. Fonctionnement

De manière simplifiée, la biométhanisation se déroule généralement de la manière suivante (voir figure n°4):
-Introduction des substrats dans le méthaniseur,
-Production de biogaz dans le méthaniseur (CH_4 et CO_2),
-Injection du biogaz dans le moteur de cogénération et
-Production d'électricité et de chaleur via le moteur de cogénération.

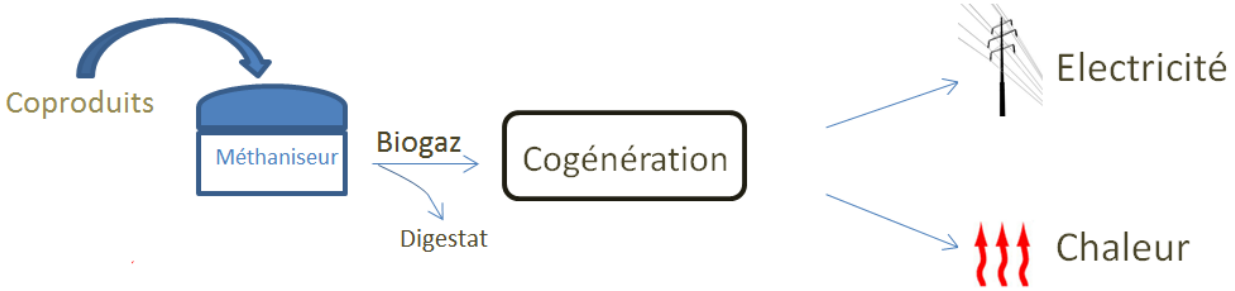


***Figure n°4** : Schéma simplifié d'une station de biométhanisation.*

B.2.2. Modèles économiques

L'installation d'une station de biométhanisation peut se rentabiliser de deux manières :

La première consiste à ne pas envoyer le biogaz dans le moteur de cogénération et à le réinjecter dans le réseau de gaz naturel après purification. Il faut savoir que cette pratique n'en est encore qu'à ses débuts en Belgique. De cette manière, la vente de biogaz peut rapporter **80 eur/MWh brut**. Attention, ce tarif va varier en fonction de la puissance de réinjection (ici, prix correspondant à une réinjection de 300 m^3/h). Ce tarif est contrôlé par la CWaPE (commission wallonne pour l'énergie) via les certificats d'origine.

La deuxième manière consiste à envoyer le biogaz dans le moteur de cogénération, ce qui génère 3 voies de rentabilité :

1) L'économie d'électricité
   a. Celle-ci se chiffre à environ **100eur/MWh électrique économisé** pour une petite entreprise.
   b. Si la production électrique est plus importante que la consommation, l'électricité peut être réinjectée sur le réseau à raison d'environ **40eur/MWh électrique**. La réinjection est donc moins intéressante financièrement que l'autoconsommation.

2) La vente de certificats verts
   a. Un **CV** (certificat vert) vaut environ **65eur**. Selon les kg de CO_2 économisés par rapport à l'énergie électrique conventionnelle produite en Belgique, les MWh générés par la station de biométhanisation recevra un nombre donné de certificats verts par MWh électrique produit. **→1CV/MWh produit si l'énergie thermique de l'installation n'est pas valorisée. → jusqu'à 2CV/MWh produit si l'énergie thermique de l'installation est totalement valorisée**.

3) Valorisation de la chaleur
   a. Valorisation de la chaleur via le remplacement d'une consommation existante ou via création d'une utilisation nouvelle et intéressante à raison d'environ **25 eur/MWh thermique**.

B.2.3. Exemple

Cas des feuilles de betteraves, prenons en 1t et tentons de la valoriser, attention, les coûts opérationnels de l'installation ne sont pas pris en compte.
1t de feuilles de betteraves produit 54,7 Nm^3_{CH4}/t_{MF}, c'est-à-dire 547 kWh brut ou 0,547 MWh brut.
Si l'on décide de réinjecter le biogaz, cela rapportera 0,547 MWh brut * 80 eur/MWh brut = **43,76 eur.**

Si l'on introduit ce biogaz dans une station de cogénération,

1) L'électricité générée sera de 0,547 MWh brut * 37% rendement électrique = 0,202 MWh électrique
   Prenons l'hypothèse qu'il autoconsomme toute l'électricité et qu'il ne doive pas réinjecter d'électricité sur le réseau (= hypothèse la plus favorable).
   0,202 MWh électrique * 100 eur/ MWh électrique = 20,2 eur.

2) Prenons l'hypothèse que les feuilles de betteraves biométhanisées donnent droit à un coefficient d'économie de CO_2 tel que l'on obtient le rapport 1,5 CV/MWh électrique, ce qui apporte 65eur/CV * 1,5 CV/MWh électrique * 0,202 MWh électrique = 19,68 eur.
3) 0,547 MWh brut génère 0,246 MWh thermique (rendement de 45% environ). 0,246 MWh thermique * 25 eur/MWh thermique = 6,15eur.
Total : 20,2 + 19,68 + 6,15 = 46,03 eur

Si l'on introduit ce biogaz dans une station de cogénération, avec des hypothèses moins favorables,

1) Hypothèse : il n'autoconsomme pas l'électricité et il réinjecte tout sur le réseau, nous aurions 0,202 MWh électrique * 40 eur/ MWh électrique = 8,08 eur.
2) Prenons l'hypothèse que les feuilles de betteraves biométhanisées donnent droit à un coefficient d'économie de CO_2 tel que l'on obtient le rapport 1,2 CV/MWh électrique (rapport moins intéressant car on ne valorise pas la chaleur, voir point 3), ce qui apporte 65eur/CV * 1,2 CV/MWh électrique * 0,202 MWh électrique = 15,75 eur.
3) Si l'énergie thermique n'est pas valorisée, elle ne rapporte rien.
Total : 8,08 + 15,75 = 23,83 eur.

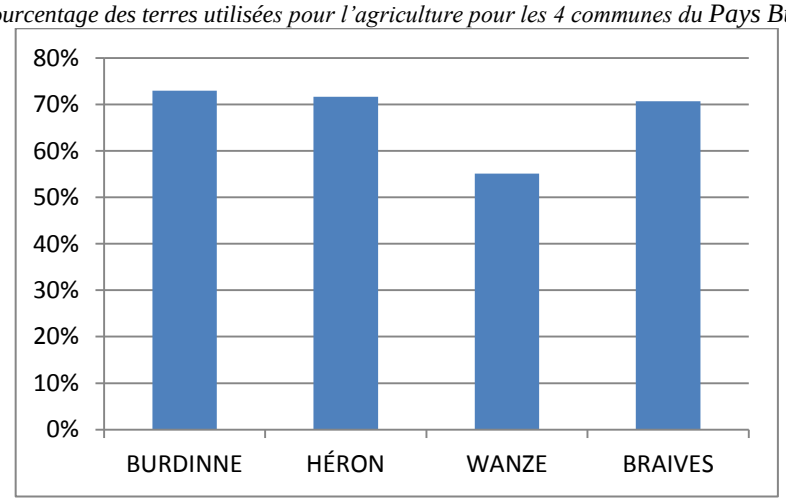
Ces exemples mettent en exergue le fait qu'il est important de revaloriser la chaleur dans le cas d'une cogénération.

C. ETUDES DES RESSOURCES EN SUBSTRATS METHANISABLES

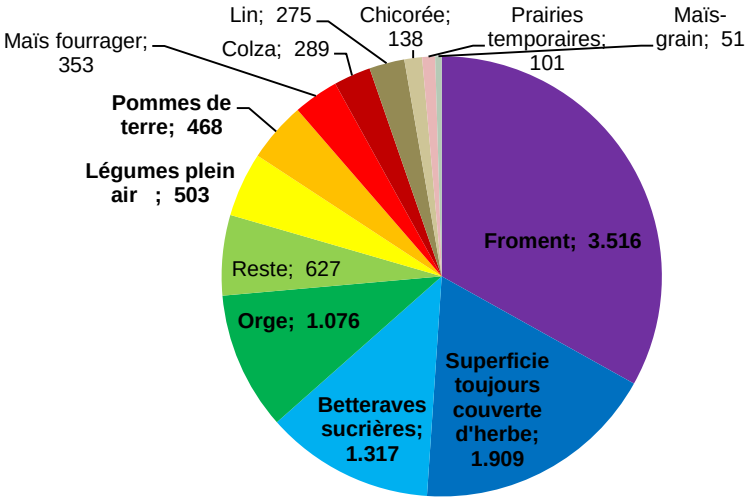
C.1. Agriculture

Le Pays Burdinale Mehaigne est une région agricole comme le décrit le graphique ci-dessous. On y remarque que chaque commune possède de l'ordre de 70% de leur surface réservée à l'agriculture sauf Wanze qui, elle, ne possède que 55% de son territoire dédié aux zones agricoles.

Graphique n°1 : *Pourcentage des terres utilisées pour l'agriculture pour les 4 communes du Pays Burdinale Mehaigne.*



Graphique n°2 : *Répartition des types de cultures sur l'ensemble de la SAU (surface agricole utile) du Pays Burdinale Mehaigne.*



Le total des terres utilisées en agriculture est de 10.623 hectares sur ce territoire. La SAU du Pays Burdinale Mehaigne est principalement dédiée aux grandes cultures, comme l'illustre le graphique ci-dessus. En effet, les céréales et les betteraves constituent 55% de l'ensemble de la SAU.

C.1.1. Coproduits de grandes cultures

Les coproduits des cultures englobent les matières générées parallèlement à une récolte donnée mais qui ne constituent pas le produit phare de la récolte. Ces coproduits possèdent une valeur marchande et sont potentiellement valorisables. Ce sont eux qui vont attirer notre attention afin de déterminer si leur valorisation en biométhanisation est judicieuse ou pas.

La démarche appliquée dans cette étude constituera à détailler cinq caractéristiques pour chaque substrat, à savoir :

-la disponibilité (description, directement mobilisables >< potentiellement mobilisables, stockage)
-la quantité (minimum 100t/an),
-la saisonnalité (période de récolte),
-la potentiel énergétique (potentiel BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]), et enfin
-la localisation.

Pour chaque substrat décrit, une conclusion détaillera la pertinence ou pas de son utilisation en biométhanisation.

Les quantités (en hectare) de culture ont été estimées par un recensement officiel des communes réalisé en 2009 et transmis par le SPF économie. Les rendements (en t/ha) des différentes cultures sont des estimations des rendements moyens en Belgique, données venant de la bibliographie ou encore d'agriculteurs. Les potentiels méthanogènes des différents substrats proviennent de l'expérience de Greenwatt dans le domaine de la biométhanisation.

Tableau n°1 : *Potentiel méthanogène des feuilles de betteraves.*

Betteraves (feuilles)		
Disponibilité & remarques	La récolte de betteraves est repartie sur les mois de septembre et octobre. Lors de la récolte, les feuilles sont hachées sur le champ et laissées sur la terre. Or, il est possible de récupérer ces feuilles grâce à un tapis roulant ajouté sur la machine arracheuse de betteraves et qui projette les feuilles dans une benne roulant sur le côté. Les feuilles de betteraves peuvent être stockées en silo. Il est intéressant de savoir que les silos de feuilles de betteraves génèrent une quantité importante de jus, celui-ci a un pouvoir méthanogène important, dès lors, il vaut mieux ne pas le laisser s'écouler à l'égout (suggestion : faire le silo de feuilles de betteraves au-dessus d'un silo de maïs comme ci-contre, l'avantage est double car il n'est plus nécessaire de couvrir le silo de maïs avec une bâche). Ce type de silo a déjà été testé par Mr De Seny au réseau de Biogaz du Haut Geer (cfr point E.1), voir ci-contre. Le prix de rachat des feuilles de betteraves appliqué était, dans leur cas, de 20€/t.	 ***Figure n°5 :*** *Silo de feuilles de betteraves au-dessus d'un silo de maïs.*
Quantité	Superficie [ha]	**1.317**
	Production estimée [t /ha]	**40**[1]
	Production [t]	**52.680**
Saisonnalité [1]		

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Betteraves												

Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**54,7**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**2.881.596**
	Potentiel énergétique [MWh]		**28.815**	
	Energie électrique [MWh]		**10.662**	
	Energie thermique [MWh]		**12.967**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

[1]/ Source : [6], [7] et [8].

<u>Conclusion :</u> Les feuilles de betteraves ne sont pas valorisées à l'heure actuelle. Leur récupération lors de la récolte de betteraves constituerait une possibilité intéressante de valorisation. Utiliser les feuilles de betteraves dans une station de biométhanisation leur rapporterait 44,3 €/tonne (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100eur/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils valorisent leur énergie thermique à raison de 20€/MWh thermique).

Détails du calcul :

54,7 [Nm^3_{CH4}/t_{MF}] * 10 [KWh/ Nm^3_{CH4}] / 1000 [KWh/MWh] * 37% (rendement électrique)= 0,20 MWh elec.

54,7 [Nm^3_{CH4}/t_{MF}] * 10 [KWh/ Nm^3_{CH4}] / 1000 [KWh/MWh] * 45% (rendement thermique)= 0,24 MWh therm.

(0,20 [MWh elec] * 100 [€/MWh elec]) + (0,20 [MWh elec] * 65 [€/CV] * 1,5 [CV/MWH elec]) + (0,24 [MWh therm] * 20 [€/MWh therm]) = 44,3 €/t_{MF}.

Tableau n°2 : *Potentiel méthanogène des pulpes surpressées de betteraves.*

Betteraves (pulpes surpressées)		
Disponibilité & remarques	Les pulpes de betteraves constituent un aliment pour le bétail. La récolte de betteraves est repartie sur les mois de septembre et octobre. Les agriculteurs de la région se situent entre deux sucreries, celles de Tirlemont au nord et celle de Longchamps à l'ouest. Les pulpes surpressées (25% MS) sont stockées en silo. Les pulpes peuvent aussi être déshydratées (90%) et peuvent être conservées aisément (Big-bag).	
Quantité	Superficie [ha]	**1317**

	Production estimée [t /ha]		**20**[1]	
	Production [t]		**26.340**	
Saisonnalité [1]				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**78,9**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**2.078.226**
	Potentiel énergétique [MWh]		**20.782**	
	Energie électrique [MWh]		**7.689**	
	Energie thermique [MWh]		**9.352**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Betteraves												

[1] : Source [6].

Conclusion : La biométhanisation des pulpes surpressées constitue une alternative financièrement intéressante et correspondrait bien à des agriculteurs qui ne possèdent pas de bétail. La valeur des pulpes surpressées comme aliment pour le bétail est de l'ordre de 17eur/tonne [4].
Utiliser les pulpes dans une station de biométhanisation leur rapporterait 64,3€/tonne (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100eur/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils valorisent leur énergie thermique à raison de 20€/MWh thermique).
N.B : Lors de la récolte de betteraves, il y a aussi production d'un autre coproduit que sont les radicelles à raison d'environ 0,5t/ha. Celles-ci se retrouvent dans les sucreries et constituent donc une source de substrats délocalisée hors de la région étudiée. En effet, il n'y a pas de sucrerie dans le Pays Burdinale Mehaigne.

Tableau n°3 : *Potentiel méthanogène des menues pailles de céréales.*

Menues pailles de céréales				
Disponibilité & remarques	Les menues pailles sont produites lors de la moisson (mois de juillet et août principalement). A la récolte des céréales, les glumes, petites pailles et autres menus déchets sont renvoyés sur les côtés de la moissonneuse et dispersés dans le champ. Pour le moment, elles sont laissées à même le sol après la moisson. Aujourd'hui, la menue paille peut être sortie des champs, ce qui ouvre de nouveaux débouchés à cette biomasse issue des grandes cultures. Cela permet également de retirer une partie des graines d'adventices (mauvaises herbes) présentes sur les parcelles [2]. Les menues pailles constituent une matière plutôt sèche et n'évoluent pas dans le temps si un stockage est nécessaire.			
Quantité	Superficie [ha]		**4.995**	
	Production estimée [t /ha]		**2**	
	Production [t]		**9.990**	
Saisonnalité [1]				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**210**[1]	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**2.097.900**
	Potentiel énergétique [MWh]		**20.979**	
	Energie électrique [MWh]		**7.762**	
	Energie thermique [MWh]		**9.440**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Froment, orge, triticale, escourgeon												
Avoine, seigle												

[1] : Source : Annexe 1 : Valorisation énergétiques des menues pailles.

Conclusion : Se débarrasser des menues pailles est souvent bénéfique pour l'agriculteur. Cela limite le resalissement des cultures par les pertes de grains (petits grains ou grains cassés). Cela permet également de limiter le recours à l'utilisation de produits herbicides pour la culture suivante. Utiliser les menues pailles dans une station de biométhanisation leur rapporterait 172,4 €/tonne (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100eur/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils valorisent leur énergie thermique à raison de 20€/MWh thermique). Il est difficile de mettre une valeur actuelle des menues pailles car elles ne sont pas ou peu récoltées à l'heure actuelle. En comparaison à leur valeur en combustion, de l'ordre de 45€ (cfr Annexe1), la valeur en biométhanisation est bien plus élevée.

Tableau n°4 : *Potentiel méthanogène des pailles de céréales.*

Paille de céréales (froment, orge, triticale, escourgeon, avoine et seigle)				
Disponibilité & remarques	La paille est majoritairement utilisée comme litière aux bétails mais également comme aliment. La biodégradabilité de ce substrat est faible (38%), il doit généralement être accompagné d'un autre substrat plus facilement digestible. La récolte de paille de céréales est repartie sur les mois de juin à août. Le stockage est très aisé (ballots). La paille vaut de l'ordre de 65 €/t en gros ballots (Sillon Belge, 7 septembre 2012).			
Quantité	Superficie [ha]		**4.995**	
	Production estimée [t /ha]		**4**	
	Production [t]		**19.980**	
Saisonnalité [1]				

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Froment, orge, triticale, escourgeon												
Avoine, seigle												

Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**90,2**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**1.802.196**
	Potentiel énergétique [MWh]		**18.022**	
	Energie électrique [MWh]		**6.668**	
	Energie thermique [MWh]		**8.110**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

Conclusion : La paille peut être fournie toute l'année de manière continue grâce au fait que son stockage est facile, néanmoins, sa dégradabilité est mauvaise (biodégradabilité : 38%) et nécessite de ne pas être le seul substrat d'alimentation d'une station de biométhanisation. De plus, les agriculteurs l'utilisent en priorité pour leur bétail donc, seuls les surplus de récolte pourraient être valorisés. Néanmoins si la paille était utilisée en biométhanisation, elle pourrait rapporter 73,2 €/t_{MF} (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100eur/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils valorisent leur énergie thermique à raison de 20€/MWh thermique). Les agriculteurs ne possédant pas de bétail peuvent donc valoriser leur paille de cette manière. De plus, le recensement nous montre que la majorité des agriculteurs de la région sont des cultivateurs et non des éleveurs, ce qui constitue un point positif pour la revalorisation de la paille par biométhanisation dans cette région.

Tableau n°5 : *Potentiel méthanogène des issues de silo.*

Issues de silo	
Disponibilité & remarques	Les issues de silos sont les coproduits du travail du grain. Les coopératives pour honorer leurs contrats avec les industriels doivent assurer un grain propre de bonne qualité. Pour cela, plusieurs tris sont effectués, impliquant la mise à l'écart des grains cassés, des lots défectueux, des poussières, des grains « hors norme ». C'est ce que l'on appelle les issues de silos. Les issues de silos sont ainsi produites toute l'année au niveau des différentes plates-formes de

	stockage des coopératives. Elles présentent divers avantages, entre autres : une faible humidité, un bon pouvoir calorifique et la pérennité de l'approvisionnement (en lien avec la présence des silos des coopératives dans le secteur) [2]. Les issues de silo constituent une matière plutôt sèche et n'évoluent pas dans le temps si un stockage est nécessaire.	
Quantité	Superficie de céréales [ha]	**4.995**
	Production estimée de grains [t/ha]	**7,5**
	Production estimée de grains sur la région [t]	**37.462**
	Production estimée d'issues de silo [t]	**375**
Saisonnalité [1]		

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Froment, orge, triticale, escourgeon												
Avoine, seigle												

Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**285**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**106.875**
	Potentiel énergétique [MWh]		**1.069**	
	Energie électrique [MWh]		**395**	
	Energie thermique [MWh]		**481**	
Localisation	Reparti dans les différents silos de la région			

Conclusion : Les issues de silo possèdent un pouvoir méthanogène très élevé (285 Nm^3/T_{MF}), ce qui le rend attrayant pour la revalorisation par biométhanisation. Elles sont parfois utilisées comme aliment pour bétail et leur valeur est alors de 28 €/tonne [3]. Si ces issues de silo étaient revalorisées par la biométhanisation, elles pourraient rapporter 233,8 €/tonne (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100 €/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils valorisent leur énergie thermique à raison de 20 €/MWh thermique). Ce qui constitue un potentiel financier important pour les silos de la région.

Tableau n°6 : *Potentiel méthanogène des tourteaux de colza.*

Colza (tourteaux)				
Disponibilité & remarques	Le colza est cultivé pour son huile. Une fois l'huile extraite des graines, celles-ci sont compressées sous forme de tourteaux, aisés à stocker.			
Quantité	Superficie [ha]		**289**	
	Production de tourteaux [t /ha]		**2**[1]	
	Production [t]		**578**	
Saisonnalité				

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Colza												

Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**286**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**165.308**
	Potentiel énergétique [MWh]		**1.653**	
	Energie électrique [MWh]		**611**	
	Energie thermique [MWh]		**744**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

[1] : Source [14].

Conclusion : Les tourteaux de colza, lorsqu'ils sont utilisés comme aliment pour bétail, ont une valeur de 327€/T (Sillon Belge 7 sept 2012). En biométhanisation, ils pourraient économisés 234,7 €/T_{MF} (en supposant qu'ils utilisent l'électricité pour eux-mêmes, économie de 100 €/MWh elec, qu'ils ont 1,5CV/MWh elec et qu'ils ne valorisent pas leur énergie thermique). Il n'est pas économiquement rentable de méthaniser du tourteau de colza.

Tableau n°7 : *Potentiel méthanogène des écarts de tri de pommes de terre.*

Ecart de tri de pommes de terre				
Disponibilité & remarques	Les pommes de terre, récoltées au début de l'automne, montre une production assez variable selon les variétés. Cette plante est très sensible au mildiou qui est une maladie qui se manifeste par des taches brunes et/ou des moisissures blanches et un flétrissement des feuilles ainsi qu'un pourrissement des bulbes des pommes de terre. Un traitement au cuivre est préconisé pour éviter cette maladie. Les pommes de terre peuvent être conservées jusqu'à 8-10 mois. Le stockage peut se faire en vrac à condition de limiter la hauteur du tas pour éviter l'écrasement de celles du dessous. De plus, elles doivent être placées à l'obscurité, dans un endroit ventilé et maintenu à une température entre 2 et 10°C. Sans ces précautions, elles peuvent être conservées quelques semaines. Nous allons estimer dans cette étude que 5% de la production est écartée (pommes de terre pourries, vertes ou coupées) et pourrait être utilisée en biométhanisation [12].			
Quantité	Superficie [ha]		**468**	
	Production estimée [t /ha]		**40**	
	Production [t]		**18.720**	
	Ecart de tri [t]		**936**	
Saisonnalité				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**77**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**72.072**
	Potentiel énergétique [MWh]		**721**	
	Energie électrique [MWh]		**267**	
	Energie thermique [MWh]		**324**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pommes de terre												

Conclusion : Nous nous sommes ici attardés aux écarts de tri de bulbes de pommes de terre. Leurs quantités varient énormément d'une année à l'autre (météo différente,…) et d'une variété à l'autre (selon la profondeur de semis, les pommes de terre risquent plus ou moins d'être affectées par le soleil causant un verdissement). Nous avons fixé les écarts de tri de pomme de terre à 5%. Ce gisement reste faible dans le cas de cette étude.

Tableau n°8 : *Potentiel méthanogène des fanes de pommes de terre.*

Fanes de pommes de terre				
Disponibilité & remarques	Les fanes de pommes de terre sont générées à raison de 7,5 t_{MF}/ha (à 20% MS, cela correspond à 1,5t_{MS}/ha [16]). La difficulté de ce substrat est sa récolte, pas de machines appropriées existantes.			
Quantité	Superficie [ha]		**468**	
	Production estimée [t /ha]		**7,5**	
	Production [t]		**3.510**	
Saisonnalité				
Potentiel	Pouvoir BMP	**40**	Potentiel énergétique	**140.400**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pommes de terre												

énergétique	[Nm^3_{CH4}/t_{MF}]		[Nm^3_{CH4}]	
	Potentiel énergétique [MWh]		**1.404**	
	Energie électrique [MWh]		**519**	
	Energie thermique [MWh]		**631**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

Conclusion : A l'heure actuelle, la partie aérienne de la plante de pommes de terre n'est pas valorisée. En effet, elle est généralement détruite de manière mécanique ou chimique avant la récolte des bulbes. Il pourrait être envisagé de les revaloriser également. Dans le cadre de notre étude de potentiel, ce substrat ne sera pas pris en compte de par la difficulté de sa récolte.

Tableau n°9 : *Potentiel méthanogène des pailles de maïs grain.*

Maïs grain - paille				
Disponibilité & remarques	La paille de maïs grain est constituée des tiges, des feuilles et des spathes de la plante. La paille de maïs-grain constitue une matière plutôt sèche et n'évolue pas dans le temps si un stockage est nécessaire.			
Quantité	Superficie [ha]		**51**	
	Production estimée [t /ha]		**7**[1]	
	Production [t]		**357**	
Saisonnalité [1]				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**67**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**23.919**
	Potentiel énergétique [MWh]		**239**	
	Energie électrique [MWh]		**88**	
	Energie thermique [MWh]		**107**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Maïs												

[1] : Valeur provenant des sources [5], [6] et [9].

Conclusion : La paille de maïs grain est généralement laissée sur le champ et n'est pas valorisée. La biométhanisation constitue une possibilité de revalorisation. Cependant, les cultures de maïs grain sur le territoire de la Mehaigne sont trop restreintes pour rendre ce substrat pertinent dans le cadre de cette étude.

Tableau n°10 : *Potentiel méthanogène des rafles de maïs grain.*

Maïs grain - rafles				
Disponibilité & remarques	La rafle de maïs est la partie centrale d'un épi de maïs, sur laquelle sont accrochés les grains. Elle constitue un déchet de la récolte de maïs grain. Les rafles de maïs constituent une matière plutôt sèche et n'évoluent pas dans le temps si un stockage est nécessaire.			
Quantité	Superficie [ha]		**51**	
	Production estimée [t /ha]		**2**[1]	
	Production [t]		**102**	
Saisonnalité				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**183,1**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**18.676**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Maïs												

	Potentiel énergétique [MWh]	**187**
	Energie électrique [MWh]	**69**
	Energie thermique [MWh]	**84**
Localisation	Reparti de manière aléatoire sur la SAU	

[1] : Source [10] et [11].

Conclusion : La rafle de maïs a un pouvoir BMP intéressant et constitue un déchet non revalorisé de la culture de maïs grain. La biométhanisation constitue une revalorisation intéressante. De même qu'au point précédent, les cultures de maïs grain sur le territoire de la Mehaigne sont trop restreintes pour rendre ce substrat pertinent dans le cadre de cette étude.

C.1.2. Cas des CIPAN

Une culture intercalaire piège à nitrates (CIPAN) est une culture semée en fin d'été qui absorbe le reliquat d'azote présent dans le sol après la récolte. Dès lors, cet azote absorbé ne sera pas lessivé vers les nappes d'eau souterraine pendant l'hiver mais sera resitué aux cultures suivantes après destruction de la culture. Les CIPAN doivent recouvrir minimum 75% des cultures qui ont été récoltées avant le 1 septembre (c'est-à-dire, les céréales majoritairement). Elles doivent être implantées avant le 15 septembre et détruites après le 30 novembre.

Parmi les CIPAN principales, on retrouve la moutarde, la phacélie, l'avoine, le seigle, le triticale et le ray-grass italien.

En plus de leur rôle de pièges à nitrates, les CIPAN remplissent un ensemble d' autres fonctions intéressantes pour les cultures, telles :
-*Lutte contre les adventices* : en couvrant les parcelles, le CIPAN limite la prolifération de mauvaises herbes,
-*Structure de sol* : la CIPAN maintient et améliore la structure du sol par son effet racinaire,
-*Production d'humus* : une fois enfouie dans le sol, la CIPAN se décompose et enrichit la terre en matières organiques qui se transforme en humus,
-*Lutte contre l'érosion* : la couverture végétale de la CIPAN diminue l'impact au sol des gouttes de pluie, et les racines maintiennent la cohésion entre les particules de sol,
-*Production de fourrage* : certaines CIPAN peuvent produire un fourrage d'appoint pour les animaux.
C'est ce dernier point qui nous intéresse. Le fauchage de ces cultures étant permis, ils pourraient être utilisés en biométhanisation [13].

Tableau n°11 : *Potentiel méthanogène des CIPAN.*

Biomasse de cultures intercalaires pièges à nitrates (CIPAN)				
Disponibilité & remarques	Nous allons estimer le nombre d'hectare de CIPAN mobilisable par le nombre d'hectares de maïs fourrager. En effet, le maïs se sème tard dans l'année (avril-mai), ce qui signifie qu'implanter des CIPAN sur les cultures qui vont produire du maïs l'année suivante, permet de pouvoir faucher les CIPAN fin mars et d'en retirer un rendement maximal. Dans ce cas-ci, ce sera l'avoine qui sera choisi en priorité car il coute peu cher et survit au gel. L'avoine peut être fauché et détruit par la suite. Le stockage est possible sous forme de ballots. Leur potentiel BMP va être approximé avec celui du foin d'herbe.			
Quantité	Superficie [ha]		**352**	
	Production estimée [t_{MS} /ha]		**1,6**[1]	
	Production [t_{MS}]		**563**	
Saisonnalité				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MS}]	**240**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**135.168**
	Potentiel énergétique [MWh]		**1.351**	

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Fauchage des CIPAN												

	Energie électrique [MWh]	**500**
	Energie thermique [MWh]	**608**
Localisation	Reparti sur les cultures de céréales de l'année en question.	

[1] : Source : [19].

Conclusion : Etant donné que les CIPAN sont obligatoires sur les terres récoltées avant le 1 septembre, elles deviennent intéressantes. Dans le cas de culture de maïs, la terre reste « libre » jusqu'au mois d'avril et permet donc de faucher l'avoine-CIPAN à ce moment-là.

C.2. Elevage

Il existe aussi un potentiel de méthanisation des effluents d'élevage, en voici les potentiels en détails.

Tableau n°12 : *Potentiel méthanogène du fumier de bovins.*

Bovins				
Disponibilité & remarques	Les bovins sont généralement en pâture du mois de mai au mois d'octobre et sont en étable ou stabulation le reste de l'année. Leur production de fumier est donc valorisable uniquement quand le bétail est à l'intérieur.			
Quantité	Nombre de têtes		**10.732**	
	Production estimée [t /nombre de tête]		**5**[1]	
	Production [t]		**53.660**	
Saisonnalité				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**33**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**1.770.780**
	Potentiel énergétique [MWh]		**17.708**	
	Energie électrique [MWh]		**6.552**	
	Energie thermique [MWh]		**7.968**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire chez les éleveurs de bovins de la région, estimé à 70 éleveurs pour 169 exploitations sur la région étudiée.			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Bovins en intérieur												

[1] : Source : [6].

Conclusion : La majorité des éleveurs utilisent leur fumier pour l'épandre sur leurs terres afin d'apporter de l'engrais naturel à la terre. Cependant, la biométhanisation de ces substrats, possédant un pouvoir BMP faible mais présents en grandes quantités, révèle un potentiel intéressant. En effet, une fois ces substrats méthanisés, les digestats produits peuvent également être épandus sur les champs, l'intérêt est donc double. Il est à noter qu'il est préférable d'alimenter une station de biométhanisation avec un autre substrat simultanément.

Tableau n°13 : *Potentiel méthanogène du lisier de porcs.*

Porcs				
Disponibilité & remarques	Les porcs sont généralement élevés à l'intérieur toute leur vie et apportent donc une production en lisier constante sur l'année.			
Quantité	Nombre de têtes		**2.999**	
	Production estimée [t /nombre de tête]		**0,85**[1]	
	Production [t]		**2.549**	
Saisonnalité				
Potentiel	Pouvoir BMP	**10**	Potentiel énergétique	**25.490**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Porcs en intérieur												

énergétique	[Nm^3_{CH4}/t_{MF}]		[Nm^3_{CH4}]	
	Potentiel énergétique [MWh]		**255**	
	Energie électrique [MWh]		**94**	
	Energie thermique [MWh]		**115**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire chez les éleveurs de porcs de la région étudiée			

[1] : Source : recensement agricole de la région et [15].

Conclusion : Le lisier de cochon, ne contenant pas de paille comme le fumier, est plus pauvre et son potentiel BMP est plus faible que pour le fumier de bovins. Cependant, il est aisé à stocker grâce aux citernes à lisiers et il est produit de manière continue sur toute l'année. Pareillement au fumier de bovins, il est préférable d'alimenter une station de biométhanisation avec un autre substrat simultanément. De plus, le lisier porcin est produit en petites quantités sur le territoire de la Mehaigne, il constituera un substrat d'alimentation plutôt mineur.

Tableau n°14 : *Potentiel méthanogène des fientes de volaille.*

Volailles				
Disponibilité & remarques	Les volailles sont généralement élevées à l'intérieur toute leur vie et apportent donc une production en fientes constante sur l'année. Il faut savoir que la fiente de volaille présente certains inconvénients (très riche en azote, la proportion de l'intrant est à surveiller et contient du sable qui s'amasse dans le digesteur) et exige donc d'être introduit avec d'autres substrats.			
Quantité	Nombre de têtes		**92.608**	
	Production estimée [t /nombre de tête]		**0,02**[1]	
	Production [t]		**1.852**	
Saisonnalité				
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	**42**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**77.791**
	Potentiel énergétique [MWh]		**778**	
	Energie électrique [MWh]		**288**	
	Energie thermique [MWh]		**350**	
Localisation	Reparti de manière aléatoire chez les éleveurs de volaille de la région étudiée			

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Volailles en intérieur												

[1] : Source : [15]

Conclusion : Les fientes de volaille possède un pouvoir BMP plus élevé que le fumier de bovins et le lisier de porcs. Il constitue un substrat de choix pour la biométhanisation. Tout comme le lisier porcin, les fientes de volaille sont produites en petites quantités sur le territoire du Pays Burdinale Mehaigne, elles constitueront un substrat d'alimentation mineur.

C.3. Divers agricoles

Le moulin de Ferrières, situé à Héron, cherche à se débarrasser de ses déchets de meulages de grain, produits à raison de 2,5t/an en aout et septembre. Malgré un potentiel BMP très important de 322 Nm^3_{CH4}/t_{MF}, le meulage de grain ne produirait que 8 MWh brut. Ceci constitue une quantité trop petite pour être pertinente dans le cadre de cette étude.

Mr Bernard Jolly de Wanze réalise des tontes de pelouse d'un golf. Etant donné qu'il procède par mulching, l'herbe n'est pas récupérable pour la biométhanisation.

La laiterie de Mr Dirk Verlee (rue basse voie, 2 Wanze) possède 140 bovins. Les eaux blanches provenant de leur exploitation sont pour le moment jetées à l'égout. Les quantités sont inconnues mais restent faibles.

C.4. Entreprises

Tableau n°15 : *Potentiel méthanogène des coproduits générés par l'entreprise Ter Beke.*

Coproduits de Ter Beke						
Disponibilité & remarques	Ter Beke est un groupe alimentaire belge qui commercialise son assortiment dans 10 pays européens. Le groupe a 2 activités principales : la charcuterie et les plats cuisinés. Cette activité génère différents types de déchets : sauce bolognaise, lasagnes, pâte et sauce béchamel. Cette entreprise s'est montré favorable à traiter de manière locale ses déchets.					
Quantité	Quantité de coproduits – sauce bolognaise [t/an]			**1.452**		
	Quantité de coproduits – lasagnes [t/an]			**396**		
	Quantité de coproduits – pâte [t/an]			**1.404**		
	Quantité de coproduits – sauce béchamel [t/an]			**300**		
Saisonnalité		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	Production de déchets												
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{MF}]	Sauce bolognaise	**120**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	Sauce bolognaise	**172.240**							
		Lasagnes	**150**		Lasagnes	**59.400**							
		Pâtes	**260**		Pâtes	**365.040**							
		Sauce béchamel	**300**		Sauce béchamel	**90.000**							
	Potentiel énergétique [MWh]			**6.867**									
	Energie électrique [MWh]			**2.541**									
	Energie thermique [MWh]			**3.090**									
Localisation	Chaussée de Wavre 259A, Wanze.												

Conclusion : Ter Beke produit près de 10 t de coproduitss par jour de manière continue sur l'année. Ce qui constitue un avantage intéressant pour l'alimentation d'une station de biométhanisation. De plus, tous les coproduits générés possèdent des pouvoirs BMP > 120 Nm^3_{CH4}/t_{MF}, ce qui constitue un substrat de choix dans le cadre de cette étude de potentiel.

Avieta est une entreprise spécialisée dans la production et la commercialisation de gaufres et est située à Vinalmont (rue de Villers, 36). Cette entreprise génère des coproduits lors de sa production, majoritairement répartis des mois de février à juin. Ces coproduits sont majoritairement des produits déclassés, donc salubres. Ils sont valorisés en alimentation animale. Parmi les coproduits, on trouve 5t/an de pépins de framboises. Ce produit, certes intéressant au niveau potentiel méthanogène, reste un produit généré en quantités trop faibles pour y accorder de l'intérêt pour l'étude de potentiel.

Tableau n°16 : *Potentiel méthanogène des aliments pour bétail générés par l'entreprise BioWanze.*

Coproduits de BioWanze													
Disponibilité & remarques	BioWanze exploite de nouvelles sources d'énergie à partir de ressources renouvelables. Ils produisent du bioéthanol destiné au carburant des voitures, garantissant ainsi la mobilité à l'avenir. Le carburant réalisé par biomasse permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Chez BioWanze, le procédé de fabrication garantit que 70 % des émissions sont évitées par rapport aux combustibles fossiles grâce au procédé de fabrication innovant lié à une chaudière biomasse unique et une intégration énergétique de pointe. L'entreprise Biowanze génère un coproduit appelé Protiwanze, en grandes quantités, voir ci-dessous.												
Quantité	Quantité d'aliments pour bétail – Protiwanze [t_{DCO} convertie /an]			**15.695**									
Saisonnalité		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	Production de déchets												

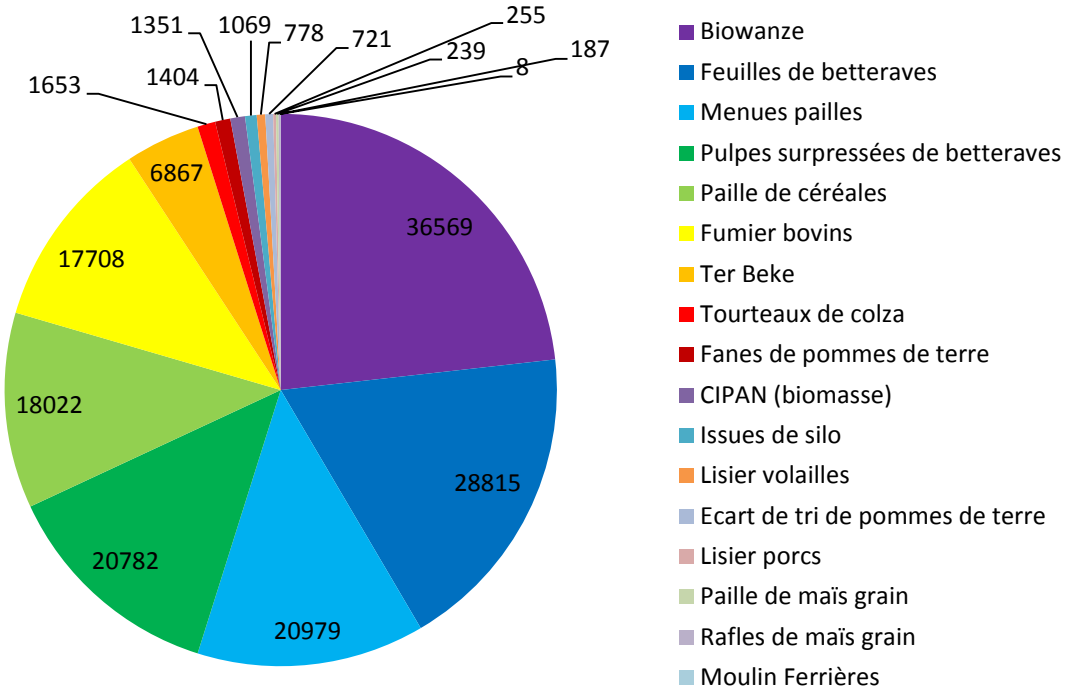
Potentiel énergétique	Pouvoir BMP [Nm^3_{CH4}/t_{DCO}]	**233**	Potentiel énergétique [Nm^3_{CH4}]	**3.656.935**
	Potentiel énergétique [MWh]		**36.569**	
	Energie électrique [MWh]		**13.531**	
	Energie thermique [MWh]		**16.456**	
Localisation	Rue Léon Charlier, 11, Wanze.			

Conclusion : Biowanze est une entreprise avec une quantité immense de coproduits qui pourraient être revalorisés. Avec une telle quantité, Biowanze a déjà comme projet d'installer une unité de biométhanisation sur leur site de production de manière à valoriser en interne l'énergie produite par leur process. Ils ne rentrent donc plus dans le cadre de notre étude de potentiel.

C.5. Répartition du potentiel énergétique brut entre les substrats

Suite à la description détaillée des différents substrats présents sur le territoire du Pays Burdinale Mehaigne, il est possible de récapituler les potentiels énergétiques bruts de chaque gisement de manière à visualiser quels sont les substrats les plus intéressants, comme le montre le graphique n°3.

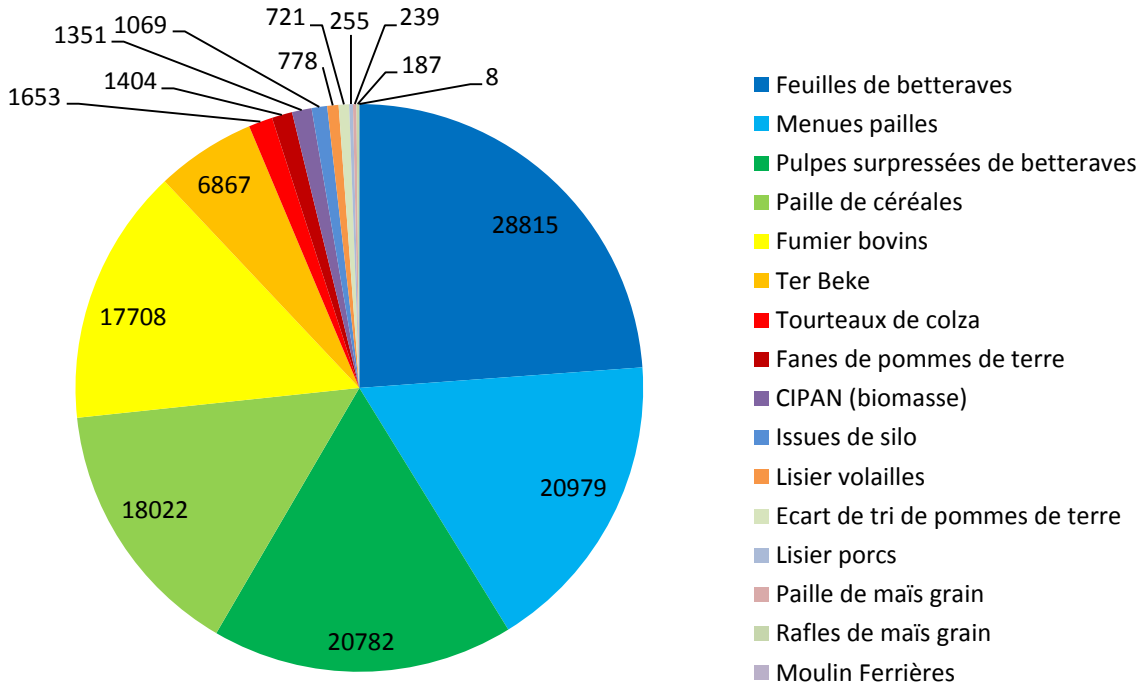
Graphique n°3 : *Répartition des différents gisements énergétiques (en MWh brut) sur le Pays Burdinale Mehaigne.*



Le graphique n°3 reprend tous les gisements répertoriés sur le Pays Burdinale Mehaigne, exprimés en MWh brut. Le total de tous ces gisements vaut 157.407 MWh brut. On remarque que le plus gros quartier correspond à celui de l'entreprise Biowanze qui, à elle-seule, représente 23% du total. Comme expliqué avant, nous n'allons pas tenir compte de cette entreprise car elle a déjà un projet de biométhanisation en cours sur son site de production. Elle sort donc du cadre de cette étude de potentiel. Afin de rendre ce graphique plus représentatif de l'étude, Biowanze va y être enlevée, comme le montre le graphique n°4 ci-après. Dès lors, le graphe total représente 120.838 MWh brut. On remarque alors que six substrats se partagent 94% de la production énergétique par biométhanisation de la région.
A savoir 24% pour les feuilles de betteraves, 17% pour les menues pailles, 17% des pulpes surpressées de betteraves, 15% pour la paille de céréales, 15% de fumiers bovins et 6% de Ter Beke. Les autres 6% sont partagés entre les

différentes autres cultures et effluents d'élevage. De manière arbitraire, afin de dimensionner l'installation (voir **H. Dimensionnement de l'installation**), nous ne prendrons en compte que les substrats apportant plus de 1000MWh.

Graphique n°4 : *Répartition des différents gisements énergétiques (en MWh brut) sans tenir compte de l'entreprise Biowanze sur le Pays Burdinale Mehaigne.*



D. ETUDES DES BESOINS ENERGETIQUES

Dans le cadre de cette étude de potentiel, nous avons repéré les consommateurs importants de chaleur ou d'électricité (ou des deux). Le consommateur idéal possède une consommation importante et homogène sur l'année. Généralement, on observe des creux de consommations thermiques en été étant donné la moindre demande de chauffage à cette période. Dans ces cas-là, ce sont surtout les consommations « planchers » qui seront analysées, c'est-à-dire, la consommation minimale continue même pendant le creux de consommation. Cette valeur est aussi appelée « matelas de consommation ».

Afin de se donner un ordre de grandeur, une petite installation d'une puissance de 100kW électrique, qui fonctionne à 100% du temps à plein régime génère :
-une énergie électrique de 876 MWh en un an, c'est-à-dire, 73 MWh par mois et
-une énergie thermique de 1.065 MWh en un an, c'est-à-dire 89 MWh par mois.
Ces valeurs ne tiennent pas compte des autoconsommations de l'unité de méthanisation, estimés, respectivement à 10% et 15%.

Il est aussi important de noter que l'eau chaude produite par les unités de cogénération est à une température de 90°C et ne peut donc pas générer de plus haute température. Cette eau à 90°C correspond bien pour chauffer des eaux sanitaires (douches, bains, nettoyage,…). Il est également possible de fournir de la vapeur à 120°C via la récupération de la chaleur provenant des gaz d'échappement.

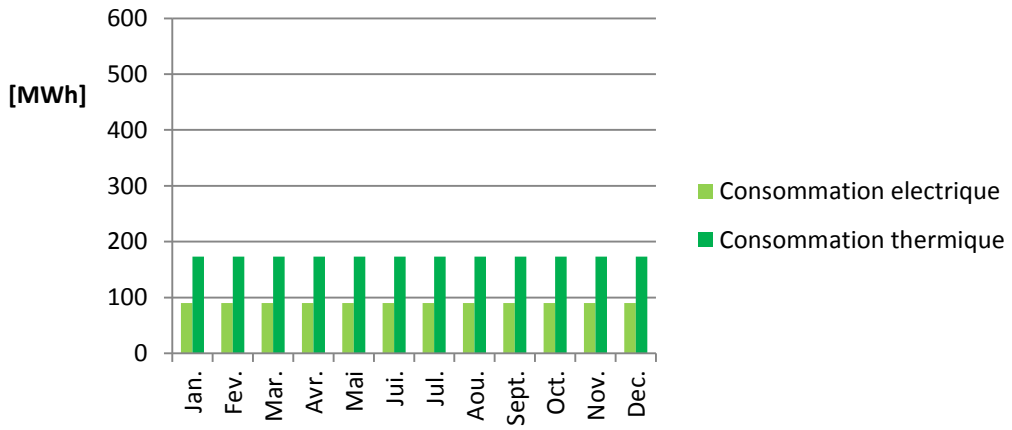
D.1. Agriculture

Christian Schiepers est agriculteur dans la région de Wanze. Une partie de son exploitation est bio, l'autre pas. Il possède un hangar complètement isolé et ventilé qui lui sert de frigo pour le stockage de ses pommes de terre. La température optimale de son frigo est de 6°C. Celle-ci empêche la germination de ses pommes de terre pour lesquelles il ne peut utiliser de produits anti-germinatifs. Sa consommation est de 16,89 MWh électrique et 35 MWh thermique par an de manière continue. Néanmoins, cette consommation est trop faible pour intervenir de manière pertinente dans cette étude.

La laiterie de Mr Dirk Verlee possède 140 bovins dont 115 sur lisier. Celui-ci est utilisé comme engrais sur leurs champs. Ils possèdent un petit commerce qui nécessite l'utilisation d'une chambre froide, d'un refroidisseur et de deux congélateurs. La famille est peu intéressée par un investissement dans la biométhanisation (fin de carrière et doute sur la reprise de la ferme). Ils ont une consommation de 70 MWh électrique et 220 MWh thermique par an. De nouveau, ces consommations sont trop faibles dans le cadre de cette étude.

D.2. Entreprises

Tableau n°17 : *Besoins énergétiques de l'entreprise Avieta.*

Avieta		
Consommation actuelle	Electrique [MWh/an]	**1.080**
	Gaz [MWh/an]	**2.076**
Saisonnalité		
Localisation	Vinalmont (Wanze), rue de villers, 38.	

<u>Conclusion :</u> Avieta Food Group débute en 1974. Aujourd'hui, le groupe est devenu un des leaders sur le marché de la gaufre. Avieta possède un matelas de consommation thermique de 173 MWh par mois et constitue un consommateur intéressant (consommation homogène sur l'année).

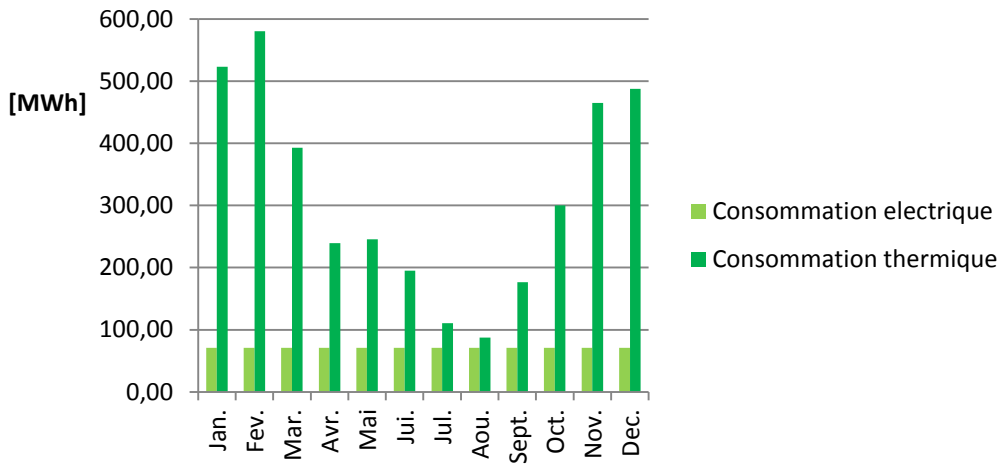
Les consommations de l'entreprise Ter Beke semblent importantes mais il s'est révélé difficile de les chiffrer avec précision.

Biowanze, comme déjà décrit au point C. *Etudes des ressources en substrats méthanisables*, est une entreprise de grosse taille. Elle a la capacité d'installer sa propre station de biométhanisation pour revaloriser ses coproduits et autoconsommer sa propre énergie. Son cas ne sera donc pas détailler ici.

D.3. Bâtiments et commerces

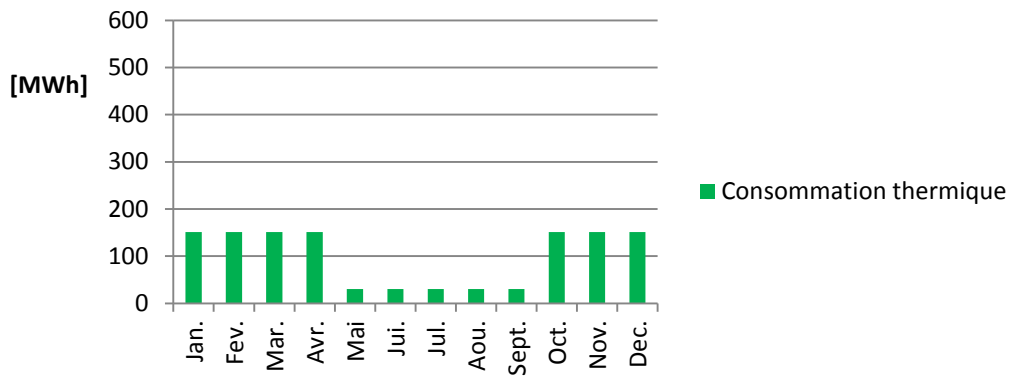
D'autres bâtiments possèdent des consommations énergétiques importantes, c'est le cas des prisons, piscines, halls sportifs, etc…

Tableau n°18 : *Besoins énergétiques de la prison de Marneffe.*

Prison de Marneffe		
Consommation actuelle	Electrique [MWh/an]	**850**
	Mazout [l/an]	**362.500**
	Mazout [MWh/an]	**3.625**
Saisonnalité		
Localisation	Marneffe, rue du sart, 208.	

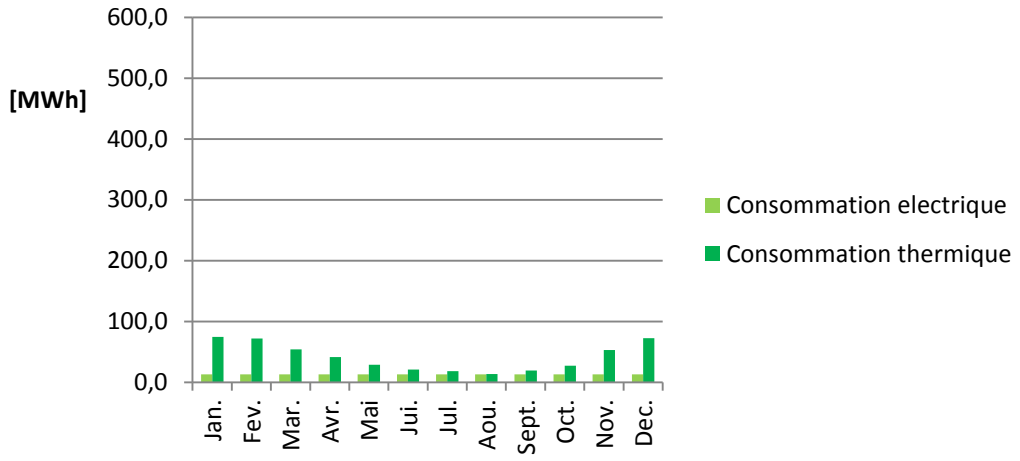
Conclusion : La prison de Marneffe constitue un très gros consommateur d'énergie thermique et possède un matelas de consommation de 87 MWh thermique durant l'été. Elle constitue un consommateur idéal et correspond environ à la production énergétique d'une installation de biométhanisation faisant tourner une unité de cogénération d'une puissance de 100kW électrique (pour son matelas de consommation). La prison de Marneffe est un excellent exemple de la variation de consommation thermique en fonction des saisons.

Tableau n°19 : *Besoins énergétiques de l'internat Val Notre Dame.*

Val Notre Dame		
Consommation actuelle	Electrique [MWh/an]	**Inconnue**
	Mazout [l/an]	**120.895**
	Mazout [MWh/an]	**1.209**
Saisonnalité		
Localisation	Rue du Val Notre Dame, 396, Antheit.	

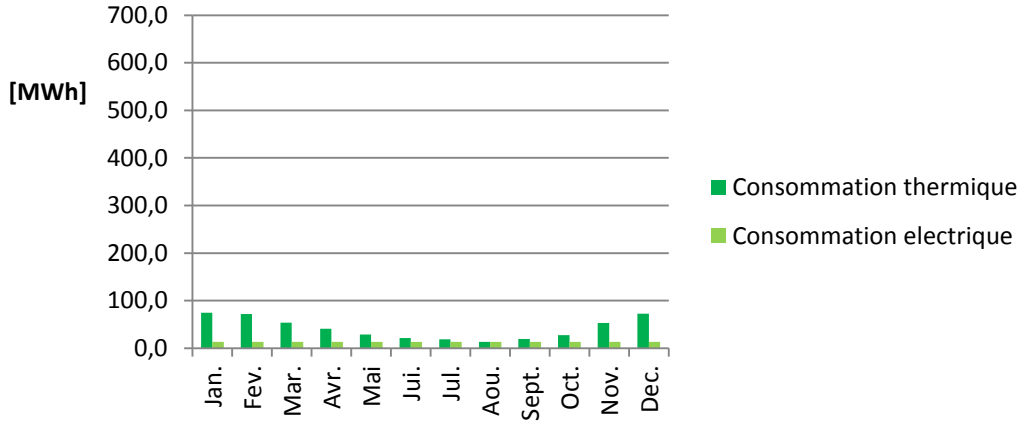
Conclusion : L'internat du Val Notre Dame possède un matelas de consommation plutôt faible, de l'ordre de 30 MWh. La saisonnalité de la consommation est un point négatif de ce consommateur.

Tableau n°20 : *Besoins énergétiques de la piscine communale « Val de Mehaigne ».*

Piscine communale du « Val de Mehaigne »		
Consommation actuelle	Electrique [MWh/an]	**506**
	Gaz [m^3/an]	**91.401**
	Gaz [MWh/an]	**914**
Saisonnalité		
Localisation	Rue Moncousin, 28, Wanze.	

Conclusion : La piscine communale du « Val de Mehaigne » possède une saisonnalité de consommation marquée et son matelas de consommation est de l'ordre de 46 MWh. La position urbaine de la piscine constitue un élément qu'il faut prendre en compte car cela engendre une difficulté d'acheminer la chaleur jusqu'au centre urbain.

Tableau n°21 : *Besoins énergétiques du hall sportif de Wanze.*

Hall sportif de Wanze		
Consommation actuelle	Electrique [MWh/an]	**Inconnue**
	Gaz [m^3/an]	**49.657**
	Gaz [MWh/an]	**496**
Saisonnalité		
Localisation	Rue Géo Warzée 19, Wanze.	

Conclusion : Le Hall sportif de Wanze montre une saisonnalité de consommation marquée et son matelas de consommation est faible, 13,4 MWh. Comme pour la piscine, la position urbaine est à prendre en compte pour ce bâtiment.

Le centre de vacances « L'hirondelle », situé à rue de la Burdinale à Oteppe (085/71.11.31) ainsi que le projet de maison de repos « Les Avelines » situé à la rue Bétonval à Wanze (085/84.82.13), n'ont pas répondu à nos demandes au sujet de leurs consommations électrique et thermique. Il existe aussi d'autres maisons de repos, à savoir La maison Dieu à Antheit, la Séniorie du Val à Moha et la résidence Amandine à Vinalmont. Ces consommateurs d'énergie ne constituent pas des éléments de choix dans le cadre de cette étude car ils présentent un caractère saisonnier de besoins, besoins importants en hiver et beaucoup moins en été. Ils ne constituent donc pas des consommateurs de choix dans le cadre de cette étude.

E. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

E.1. Le projet Biogaz du Haut Geer

Le projet Biogaz du Haut Geer a été initié en 2005 par Mr Gaëtan de Seny, qui sera par la suite soutenu par Mr Thierry Cruysmans. Ils ont créé une coopérative, comprenant 32 agriculteurs de la région, dans le but de construire une station de biométhanisation d'une puissance d'environ 1 MW située rue de la conserverie à Geer, près de l'entreprise Hesbaye Frost (entreprises de légumes congelés la plus grande d'Europe avec 250 emplois). L'idée de cette station est de biométhaniser des déchets de légumes, des produits et des coproduits de l'agriculture. Vu que ce projet est encore à ses débuts, pour le moment, ils utilisent principalement du maïs d'ensilage à raison de 6000 t/an mais leur but est de diminuer cette quantité au profit d'autres coproduits agricoles non valorisés. Ils utilisent aussi du lisier de porc et des déchets de Hesbaye Frost (varient en fonction des saisons).

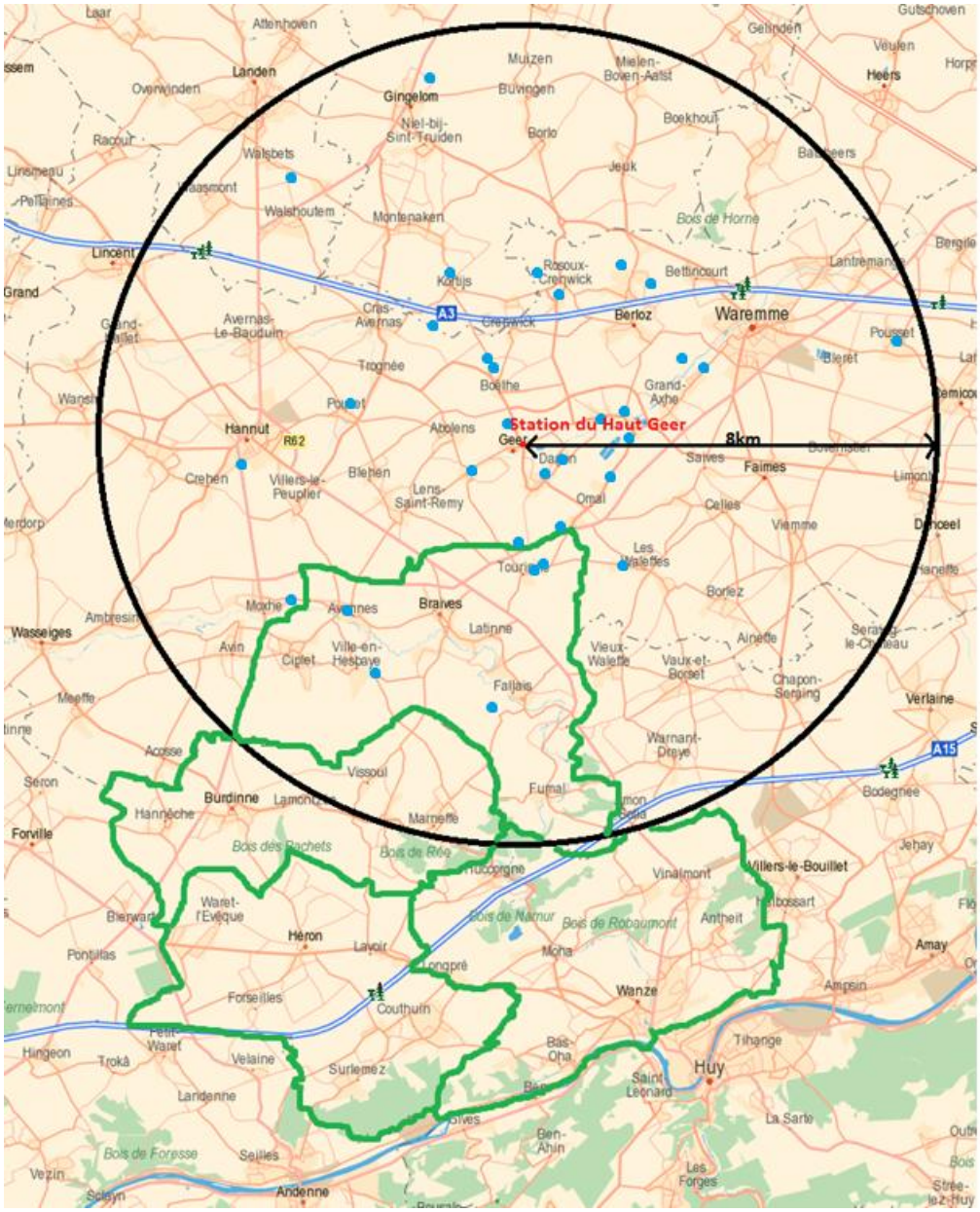


Figure n°6 *: Périmètre(en noir) reprenant les producteurs de déchets méthanisables se trouvant sur le territoire du Réseau de Biogaz du Haut Geer.*

L'électricité produite est utilisée par Hesbaye Frost et la chaleur est valorisée de différentes façons : une partie sert aux besoins thermiques de la station en elle-même. Le reste sert à sécher des plaquettes de bois afin d'en faire des briquettes de chauffage destinées à la vente et à concentrer les digestats afin de limiter leur transport ainsi que leur épandage.

Ce projet de biométhanisation, afin d'être rentable, a essayé de valoriser des produits et co-produits agricoles locaux provenant d'exploitations distantes de moins de 8 km de la station de biogaz du Haut Geer.

La figure n°6 montre l'intersection du territoire du Réseau de Biogaz du Haut Geer (en noir) avec le Pays Burdinale Mehaigne (en vert). Dès lors, les producteurs coopérants au Réseau de Biogaz du Haut Geer, représentés par les points bleus sur la figure, ne sont pas disponibles pour notre étude de potentiel.

On remarque que seuls cinq agriculteurs coopèrent dans le projet du Haut Geer, ce qui interfère peu avec notre étude, nous allons garder les hypothèses de rendement de culture sur le Pays Burdinale Mehaigne comme décrit au point *C. Etudes des ressources en substrats méthanisables*.

E.2. Ressources en substrats

Afin de mieux situer les gisements en substrats valorisables en biométhanisation, observons la figure n°7 ci-dessous. Les points verts représentent les agriculteurs de la région ; les carrés verts : les entreprises productrices de substrats ; les points bleus : les agriculteurs coopérants dans le projet du Haut Geer et donc indisponibles pour notre étude ; la courbe noire : la limite sud de 8 km définie par les gérants du projet du Haut Geer.

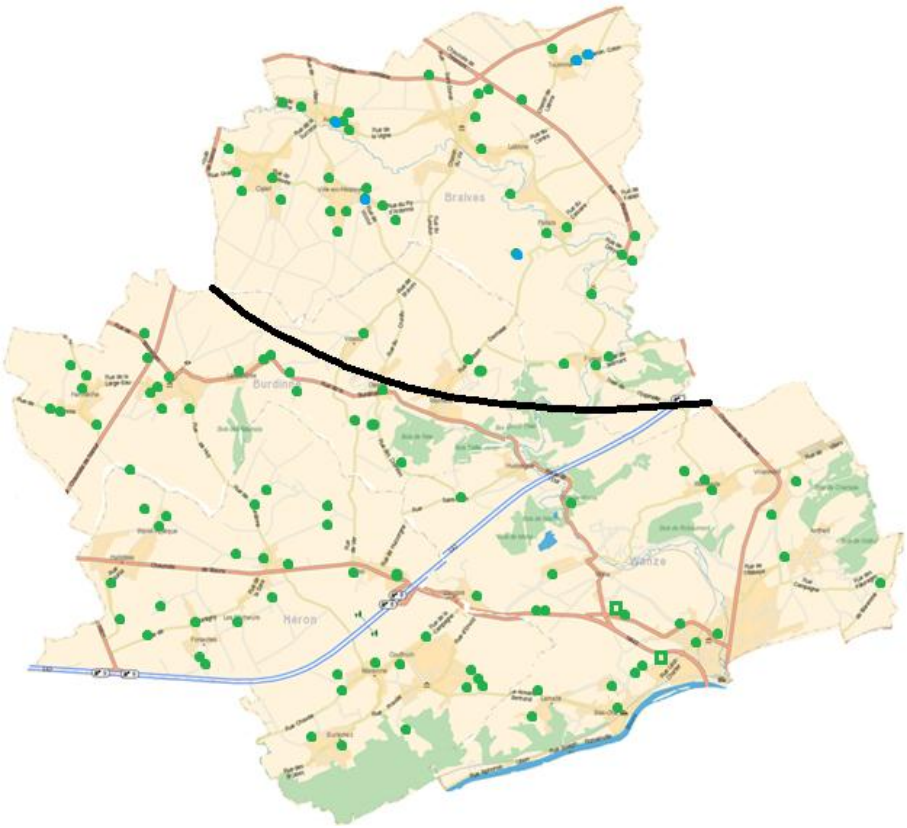


***Figure n°7** : Localisation des ressources en substrats méthanisables sur le Pays Burdinale Mehaigne avec la limite de la zone du projet du Haut Geer.*

On remarque deux zones principales de producteurs, la région de Braives au nord et la région de Héron et Burdinne, au sud-est. La région de Wanze semble moins agricole et l'on observe une absence d'agriculteurs entre Braives et Burdinne.

E.3. Besoins énergétiques

Observons à présent les consommateurs d'énergie sur le Pays Burdinale Mehaigne, représentés sur la figure n°8 ci-dessous, par des points rouges.

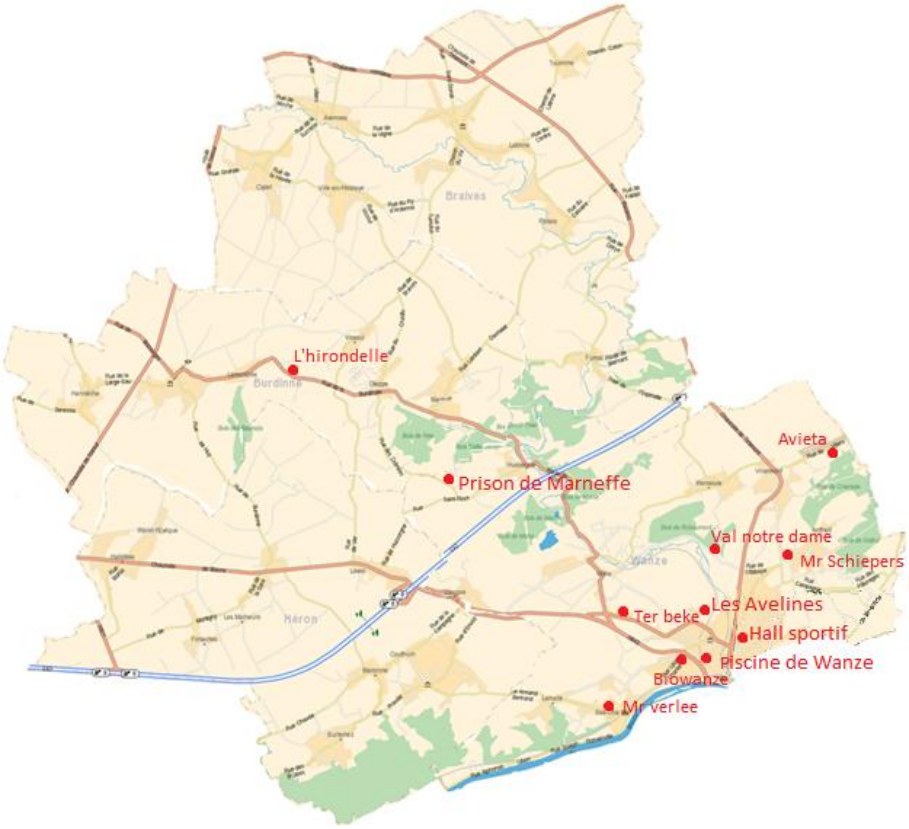


Figure n°8 *: Localisation des ressources en substrats méthanisables sur le Pays Burdinale Mehaigne avec la limite de la zone du projet du Haut Geer.*

On remarque que la majorité des consommateurs d'énergie se situent dans la commune de Wanze. Seuls deux consommateurs se situent à Burdinne : le centre de vacances « L'hirondelle » et la prison de Marneffe.

F. STATION DE BIOMETHANISATION

Une station de biométhanisation produit du biogaz et du digestat. Ces deux produits peuvent être valorisés de différentes façons. Comme l'illustre la ***Figure n°9***, le biogaz peut être envoyé dans un moteur de cogénération et ainsi produire de l'électricité et de la chaleur ou il peut être purifié et injecté sur le réseau de gaz naturel.
Le digestat, quant à lui, est généralement utilisé pour l'épandage par les agriculteurs.

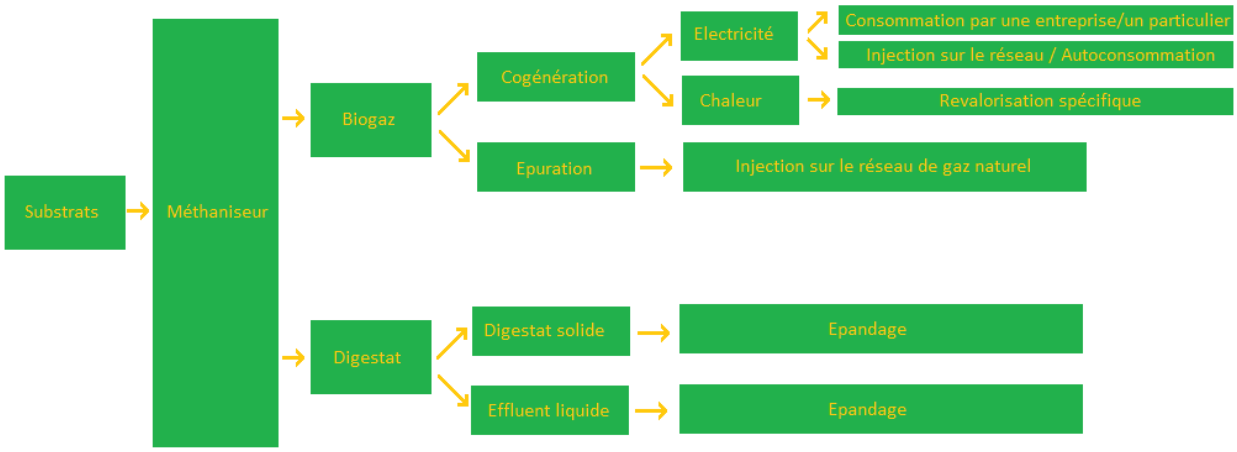


Figure n°9 : *Description du procédé de méthanisation GREENWATT.*

F.1 Revalorisation du biogaz

Au cours de l'étude, nous avons échangé sur deux scénarii concernant le devenir du biogaz : la réinjection dans le réseau de gaz naturel après épuration, et sa valorisation par cogénération.

F.1.1. Réinjection du biogaz sur le réseau

Il est théoriquement possible de réinjecter du biométhane (biogaz épuré) sur le réseau de gaz en Belgique mais la législation ne le permet que depuis peu. Avant d'injecter du biogaz sur le réseau, il faut le traiter afin de l'épurer. Pour vérifier que l'épuration s'est bien déroulée, une série de contrôles est alors réalisée sur le gaz. S'ils sont acceptables, le gaz est alors envoyé chez le gestionnaire du réseau qui prend en charge les démarches suivantes, à savoir odorisation, contrôle qualité du gaz, protection des ouvrages et régulation du débit/pression et comptage.
Ce n'est qu'à ce moment que le biométhane est réellement injecté sur le réseau.

Sur le Pays Burdinale Mehaigne, il y a trois types de réseau, un à 66 bars (transport géré par Fluxys), un à 15 bars (transport géré par Fluxys) et le dernier à 6 bars (distribution gérée par Tectéo). Afin d'envisager le potentiel de réinjection de biométhane dans le pays Burdinale Mehaigne, GreenWatt a pris contact avec les personnes en charge de ces projets au sein de la CWaPE (Thierry Collado) et des gestionnaires de réseau (Denis Bawin - Fluxys). Après réflexion et analyse, il ressort que le réseau le plus adapté à un projet de réinjection de biométhane est le réseau de 15 bars. Les avantages principaux sont : capacité/débit important et stable, localisation géographique intéressante et pression de réinjection la plus adaptée à notre cas.

Ci-dessous, la figure montre la localisation du réseau de biogaz à 15 bars sur la région étudiée.

Figure n°10 *: Localisation du réseau de gaz à 15 bars (trait noir) sur le Pays Burdinale Mehaigne.*

La réinjection de biogaz en elle-même se réalise selon le schéma suivant :

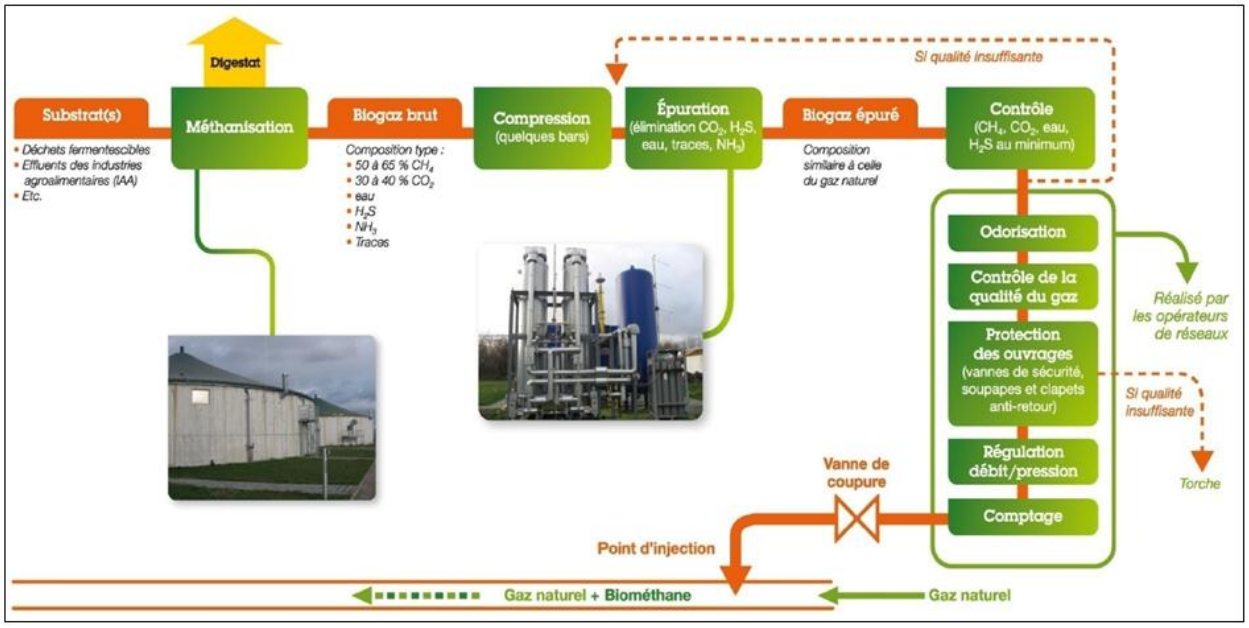


Figure n°11 : *Schéma de procédé pour la réinjection de biogaz sur le réseau de gaz naturel.*

N.B : La partie horizontale de ce schéma reprend les éléments à la charge du producteur de biométhane, tandis que la partie verticale correspond aux étapes réalisées par l'entreprise responsable de la réinjection du biogaz.

Le Chargé de mission (Frédéric Praillet) est également en contact avec la CWaPE afin de planifier une rencontre avec Tecteo et d'envisager l'injection sur le réseau local de distribution de Wanze.

F.1.2. Cogénération

Le but d'une cogénération est la production simultanée d'électricité et de chaleur. L'électricité produite sera soit consommée sur place, soit revendue sur le réseau. La chaleur quant à elle sera utilisée pour remplacer des consommations existantes de chaleur (mazout, gaz naturel,…).

Comme l'illustre la figure n°12, on envoie du biogaz, qui sera brûlé dans une installation qui produit de l'électricité (une turbine ou un moteur alimentant un alternateur). La production électrique dans la plupart des cas est vendue sur le réseau après avoir était « formatée » par un transformateur (le tarif de rachat de l'électricité est plus intéressant que le tarif d'achat pour encourager la mise en place de telles installations).
La chaleur dégagée par la combustion est récupérée pour chauffer un circuit d'eau qui servira ensuite à satisfaire des besoins en chauffage [18].

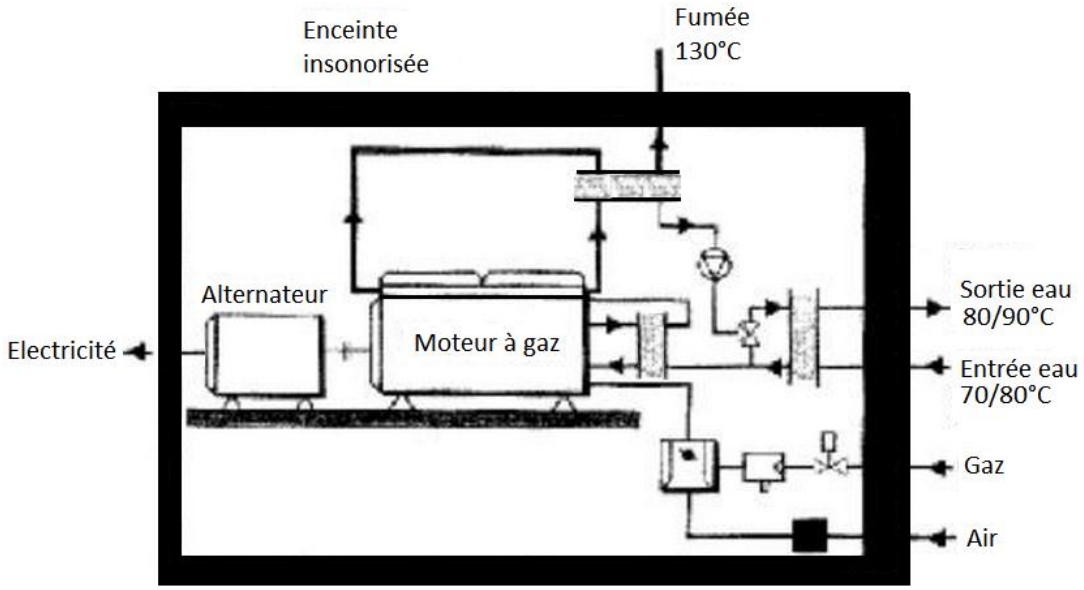


Figure n°12 : *Schéma de procédé de la cogénération [17].*

F.2. Revalorisation des digestats

F.2.1. Utilisation du digestat comme engrais de cultures bio

F.2.1.1. Directives

Le règlement européen de culture biologique donne une description, les exigences en matière de composition ainsi que les conditions d'emploi des engrais acceptés en culture biologique (voir *ANNEXE I* du règlement (CE) N°889/2008 de la COMMISSION du 5 septembre 2008). Les produits constitués par le mélange d'excréments d'animaux et de matière végétale (litière) sont permis sauf s'ils proviennent d'élevages industriels. De plus, tous les déchets ménagers végétaux et animaux ainsi que les mélanges de matières végétales, qui ont subi une fermentation anaérobie en vue de produire du biogaz, sont permis.

F.2.1.2 Agriculteurs bios

Christian Schiepers est agriculteur dans la région de Wanze (rue reine Astrid, 12). Une partie de ses cultures sont bio et nécessite un engrais non chimique. A l'heure actuelle, Mr schiepers achète cet engrais à 450 eur/T et pourrait être intéressé par le rachat de digestat provenant d'une fermentation anaérobie.

Mr Bernard Jolly, également de la région de Wanze (rue de Wansoul, 70), possède aussi une partie de son exploitation en bio.

G. DIMENSIONNEMENT

G.1. Quantités de substrats mobilisables

Comme décrit au point ***C.5.*** *Répartition du potentiel énergétique brut entre les substrats*, tous les substrats ne sont pas pertinents pour le dimensionnement d'une installation dans le Pays Burdinale Mehaigne. Nous allons nous attarder aux dix substrats qui constituent la majorité du potentiel énergétique de la région. Pour chaque substrat, un pourcentage sera appliqué afin de tenir compte de différents critères :
-motivation des agriculteurs à valoriser le gisement,
-avantages financiers à utiliser le gisement,
-utilisation (ou pas) du gisement en alimentation animale,
-possibilité de récolter le gisement,
-…
Il est intéressant de garder à l'esprit que les pourcentages utilisés ci-après risquent d'augmenter avec le temps. En effet, quand les agriculteurs remarqueront qu'utiliser leurs substrats en biométhanisation est intéressant, cela fera la publicité aux autres et donc, le facteur « motivation des agriculteurs » va évoluer.

Etudions les gisements les plus importants de la région :

Les feuilles de betteraves :

Les feuilles de betteraves ont un potentiel de 28.815 MWh brut sur l'ensemble de la région qui constitue le potentiel le plus important des substrats retenus (voir **Graphique n°4 :** *Répartition des différents gisements énergétiques (en MWh brut) sans tenir compte de l'entreprise Biowanze sur le Pays Burdinale Mehaigne.*). Les atouts de ce substrat sont qu'il n'est pas valorisé à l'heure actuelle, qu'il possède un pouvoir BMP intéressant de 54,7 Nm^3/t_{MF} et que sa production par hectare est non négligeable (de l'ordre de 40 t/ha). Nous allons maintenant choisir des pourcentages arbitraires, plausibles, sur les quantités de chaque substrat qui vont être réellement utilisées pour le dimensionnement. Etant donné que récolter les feuilles de betteraves demande une modification des machines de récolte (ajout d'un tapis roulant récolteur de feuilles), nous allons fixer le pourcentage de feuilles récoltées à **25%** du potentiel total en feuilles de betteraves du Pays Burdinale Mehaigne, c'est-à-dire **7.204 MWh brut**.
Cette quantité représente 13.170 t de feuilles de betteraves et correspond à la récolte de 329 ha de betteraves.

Les menues pailles :

Les menues pailles constituent un potentiel important pour le dimensionnement (20.979 MWh brut). En effet, leur caractère problématique pour les agriculteurs leur confère un avantage certain sur les autres substrats. A l'heure actuelle, les menues pailles ne sont pas récoltées et sont laissées sur le champ, ce qui entraine des repousses non désirées dans la récolte suivante. Pour remédier à ce problème, l'agriculteur doit recourir à l'utilisation de produits phytosanitaires, ce qui engendre des frais supplémentaires à sa culture. Comme le décrit le travail de Delphine Robinet (voir ANNEXE 1), il existe des machines ou des modifications de machines qui permettent de récolter les menues pailles, le travail présente également un plan financier qui donne le temps de retour sur investissement de l'achat de la machine selon le nombre d'hectares récoltés. Etant donné le double intérêt de récolter les menues pailles (diminution des produits phytosanitaires suite aux cultures de céréales et valorisation par biométhanisation), nous allons fixer le pourcentage de menues pailles récoltées à **75%** du potentiel total en menues pailles sur le Pays Burdinale Mehaigne, ce qui correspond à **15.734 MWh brut**.
Cette quantité représente 7.492 t de menues pailles et correspond à la récolte de 3.746 ha de céréales.

Les pulpes surpressées :

Les pulpes surpressées sont généralement utilisées comme aliment pour le bétail. Les agriculteurs éleveurs ne participeront probablement pas à la biométhanisation de leurs pulpes surpressées. Dès lors, il est probable que seuls les cultivateurs de la région pourront utiliser ce substrat. Or, dans ce cas, les cultivateurs sont en majorité par rapport aux éleveurs, on estime qu'il y a 70 éleveurs sur 169 agriculteurs. Il reste donc 99 cultivateurs qui pourraient utiliser leurs pulpes de betteraves en biométhanisation, ce qui correspond à 58% des agriculteurs de la région. De plus, alors

que les pulpes de betteraves valent de l'ordre de 17 €/t en alimentation animale, il serait possible d'en tirer 64,3 €/t en la valorisant par la biométhanisation. Fixons alors à **50%** le pourcentage de pulpes surpressées disponibles pour la biométhanisation dans le Pays Burdinale Mehaigne, ce qui correspond à **10.391 MWh brut**.
Cette quantité représente 13.170 t de pulpes de betteraves et correspond à la récolte de 658 ha de betteraves.

La paille de céréales :

La paille de céréales est générée en quantités importantes sur le territoire de la Mehaigne : 18.022 MWh brut. Néanmoins, les agriculteurs l'utilisent en premier lieu en tant que litière pour le bétail. Malgré la minorité des éleveurs, le fait que le prix de la paille est du même ordre que la valorisation par biométhanisation (65 €/t contre 73 €/t), le substrat ne sera probablement être fourni qu'en petites quantités à une station de biométhanisation. Fixons à **5%** le pourcentage de pailles de céréales disponibles pour la biométhanisation dans le Pays Burdinale Mehaigne, ce qui correspond à **901 MWh brut**.
Cette quantité représente 999 t de paille et correspond à la récolte de 250 ha de céréales.

Le fumier bovin :

Le fumier bovin est un produit à faibles pouvoir méthanogène mais généré en quantité importante : 17.708 MWh brut. Etant donné que les agriculteurs utilisent le fumier bovin comme engrais pour les cultures, il est probable qu'ils acceptent de biométhaniser ce substrat car, ils pourraient récupérer du digestat provenant de la station. Fixons dès lors le pourcentage de fumier bovin valorisé par biométhanisation à **25%,** ce qui correspond à **4.427 MWh brut**.
Cette quantité représente 13.250 t de fumier bovin, ce qui correspond à 2.683 bêtes.

Les déchets de Ter Beke :

L'entreprise Ter Beke génère des coproduits à hauts potentiels BMP à raison de **6.867MWh brut** par an. Si l'entreprise accepte de coopérer à l'étude ici présente, il est probable que **100%** du gisement soit utilisé.

Les tourteaux de colza :

Malgré leur 1.653 MWh brut, les tourteaux de colza ne seront pas utilisés dans ce dimensionnement car ils ne présentent pas d'avantages financiers à les utiliser en biométhanisation.

Les fanes de pommes de terre :

Vu que les fanes de pommes de terre présentent des difficultés à être récoltées, elles ne seront pas prises en compte pour le dimensionnement.

La biomasse des CIPAN :

Les CIPAN sont des cultures à rendements aléatoires, ce qui impliquerait de leur appliquer un pourcentage relativement faible pour tenir compte de la variabilité de leurs récoltes. Si l'on applique un pourcentage à ce substrat, déjà présent en faibles quantités (1.351 MWh brut), il deviendra un gisement trop restreint. C'est pourquoi il ne sera pas pris en compte pour le dimensionnement.

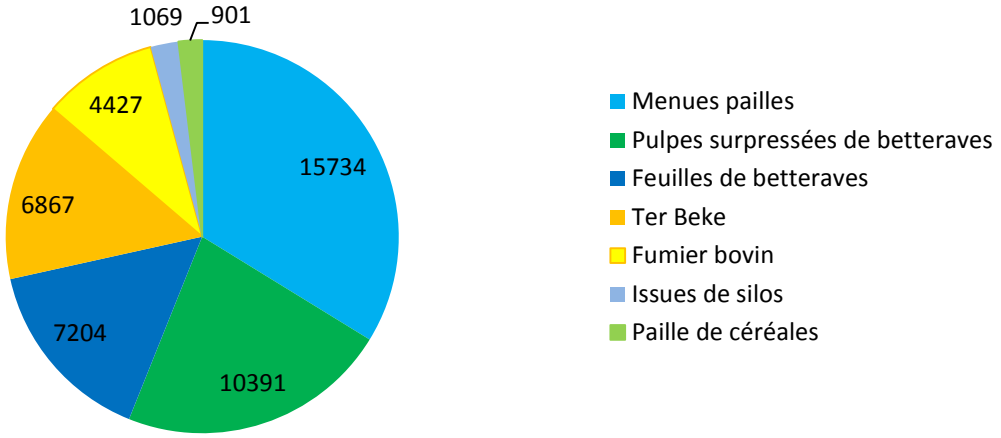
Les issues de silos :

Le cas des issues de silos peut s'avérer intéressant. En effet, sa valeur est de 28 €/t en alimentation animale alors que ce prix monterait à 234 €/t en valorisation par biométhanisation ! Ce qui constitue une voie de revalorisation très intéressante pour ce gisement. De plus, 100% de ce substrat pourrait être utilisé en biométhanisation. Ajoutons donc, ce substrat aux précédents.
L'entièreté de ce substrat constitue donc **1.069 MWh brut** disponibles supplémentaires.

G.2. Répartition des potentiels des différents gisements mobilisables

Sur l'ensemble des substrats méthanisables potentiellement disponibles constituant 120.838 MWh brut, le potentiel des substrats réellement valorisables s'élève à **46.593 MWh brut**, ce qui correspond à 38% du potentiel initial. On y retrouve cinq produits majoritaires : 34% venant des menues pailles, 22% des pulpes surpressées, 15% des feuilles de betteraves, 15% de l'entreprise Ter Beke et 10% du fumier bovin.

Graphique n°5 : *Répartition des différents gisements énergétiques mobilisables (en MWh brut) sur le Pays Burdinale Mehaigne.*

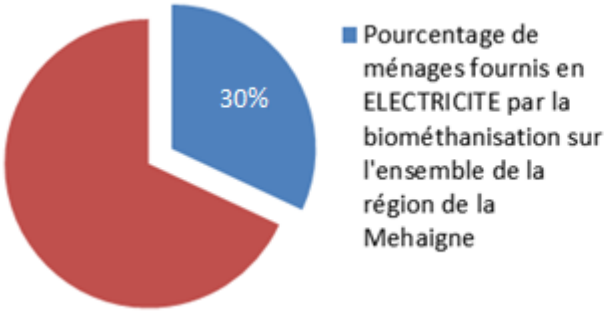


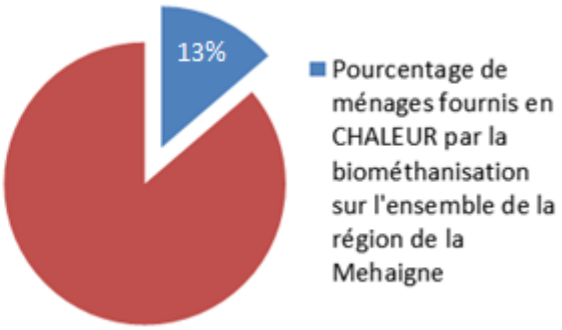
Afin de visualiser ce que le potentiel total des différents gisements représente, en voici quelques équivalents :

Avec **46.593MWh brut**, on peut :

-fournir 3.252 ménages en électricité et 1.398 ménages en chaleur pendant un an [20&24].
C'est-à-dire que l'on pourrait subvenir à 30% des besoins électriques et à 13% des besoins en chaleur des 10.775 ménages du Pays Burdinale Mehaigne.

Graphiques n°6 : *Pourcentages des ménages qui pourraient être alimentés en électricité (graphe de gauche) et en chaleur (graphe de droite) par l'énergie de la biométhanisation sur l'ensemble du Pays Burdinale Mehaigne.*





En utilisant le biogaz produit par l'ensemble des substrats de la région, à savoir 4.659.300 m^3_{CH4}, on pourrait :
-faire rouler toutes les voitures du Pays Burdinale Mehaigne pendant 164 ans [21, 22 & 23],
-faire plus de 8 fois le tour du monde avec un boeing 747 [25].

G.3. Disponibilité des substrats

Il est intéressant d'observer la saisonnalité des substrats et leur possibilité de stockage afin de lisser l'introduction de substrats dans une station de biométhanisation. Le tableau n°22, ci-dessous, donne un récapitulatif de la saisonnalité.

Tableau n°22 : *Saisonnalité des substrats mobilisables sur le Pays Burdinale Mehaigne.*

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Menues pailles (tMF)							3.746	3.746					
Pulpes surpressées de bettreraves (tMF)									6585	6585			
Feuilles de betteraves (tMF)									6.585	6.585			
Fumier bovin (tMF)	1.916	1.916	1.916	1.916						1.916	1.916	1.916	
Ter Beke (tMF)	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	
Issues de silos (tMF)							187	187					
Paille de céréales (tMF)							499	499					
Total par mois (t MF/mois)	2.212	2.212	2.212	2.212	296	296	4.728	4.728	13.466	15.382	2.212	2.212	52.168

Tous ces substrats sauf un sont aisément stockables : les menues pailles en Big Bag, les feuilles et pulpes de betteraves et le fumier bovin en silos, les pailles de céréales en ballots. Seuls les déchets de l'entreprise Ter Beke ne savent pas être stockés. De plus, une partie de ces déchets doivent être « désemballés » et hygiénisés, comme par exemple les lasagnes emballées déclassées.
Le stockage des substrats permet de « lisser » l'introduction d'intrants et donc la production d'électricité et de chaleur.

G.4. Localisation des substrats et des consommateurs d'énergie

Afin de déterminer des scenarii potentiels d'installation de biométhanisation, il est important de visualiser les différents facteurs intervenants, à savoir les producteurs de substrats méthanisables et les consommateurs d'énergie, respectivement en vert et rouge sur la carte ci-dessous.

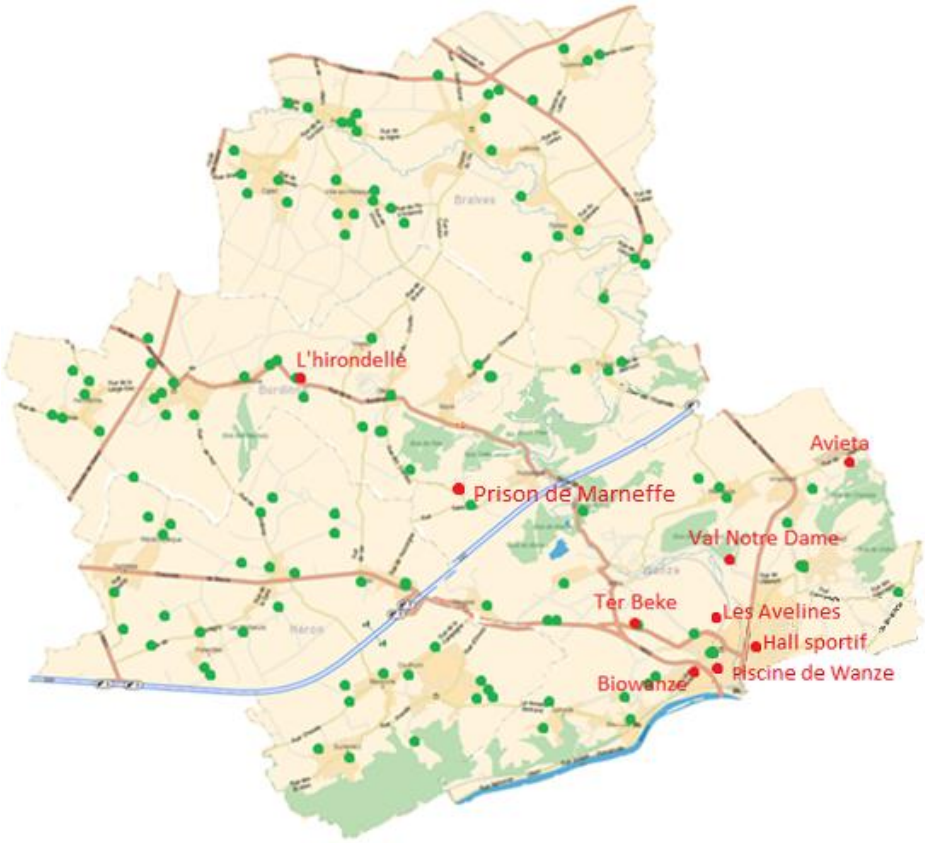


Figure n°13 *: Localisation des ressources en substrats méthanisables et des importants consommateurs énergétiques sur le Pays Burdinale Mehaigne.*

G.5. Scenarii potentiels d'installation de biométhanisation

Afin de mettre en place un projet qui a du sens, le choix de localisation de la/les station(s) est primordial. Pour ce faire, repérons les consommateurs d'énergie, ce sont eux qui rendront la station rentable. Il y a quatre consommateurs notables :
-La prison de Marneffe,
-La piscine (et le hall sportif),
-L'entreprise Ter Beke et
-Avieta.
Pour chaque consommateur, un scenario sera présenté. Les substrats disponibles, la quantité de biogaz ou les quantités électrique et thermique seront décrites ainsi qu'un bref aperçu financier du scenario. Les données financières affichées pour les différentes unités de biométhanisation reflètent les prix appliqués pour la technologie robuste et flexible développée et brevetée par Greenwatt.

G.5.1. Cas n°1 : La prison de Marneffe

La prison de Marneffe possède un matelas de consommation de l'ordre de 90 MWh thermique par mois, sa consommation électrique est plutôt stable autour des 70 MWh électrique. Elle se situe au milieu du Pays Burdinale Mehaigne (cfr ***Figure n°7)***. Elle est entourée par des agriculteurs et devraient compter sur leurs apports en substrats. Pour répondre à l'entièreté de la demande en énergie de la prison de Marneffe, il faudrait une unité de cogénération d'une puissance de 100kW électrique. Cela correspond à une production de MWh brut de 2.013, cela signifie 4,3% du potentiel total de la région (Rappel du potentiel de la région : 46.593 MWh brut).

Il est intéressant de noter que, pour le projet Biogaz du Haut Geer, ils s'étaient permis une zone de producteurs de 8km de rayon, ce qui dans notre cas engloberait tout le Pays Burdinale Mehaigne. La prison de Marneffe se situant au centre de la région, aucun producteur agricole n'est mis à l'écart.

Si une station est installée près de la prison de Marneffe, il ne reste plus alors que 46.593 MWh brut – 2.013 MWh brut = **44.580 MWh brut** disponible sur le Pays Burdinale Mehaigne.

Tableau n°23 : *Caractéristiques et bilan du cas de la prison de Marneffe.*

Carte d'identité du cas n°1 : La prison de Marneffe		
Caractéristiques		
~~Réinjection de biométhane~~ / Unité de cogénération		
Puissance électrique de l'unité de cogénération	100 kW	
Intrants valorisés	Tous les types de substrats décrits au point G.1 sauf les coproduits de Ter Beke	
Production de MWh brut	2.013 brut	
Production de MWh électrique	745 MWh é	
Production de MWh thermique	905 MWh th	
Tonnage annuel des substrats	2.429 tMF	
Tonnage annuel des digestats	1.948 tMF	
Revenus annuels		
Electricité économisée	100 € * 745 MWh é	74.500 €
Vente électricité	40 € * 0 MWh é	0 €
Thermique économisé	40 € * 905 MWh th	36.200 €
Vente thermique	30 € * 0 MWh th	0 €
Gain par les CV	1,8 CV/MWh é * 745 MWh é * 65 €/CV	87.165 €
TOTAL		**197.865 €**
Coûts annuels		
Entretien, pilotage, assurances		45.000 €
Prix des intrants[1]		50.262 €
TOTAL		**95.262 €**
Bénéfices annuels		
Revenus annuels - Coûts annuels		**102.603 €**
Investissements		
Stockage des intrants - silos 2000m^3		55.000 €
Digesteur		1.168.000 €
Cogénération – 104 kW[2]		232.000 €
Valorisation de la chaleur		0 €[3]
Stockage des digestats – lagune 2000m^3		60.000 €
TOTAL		**1.515.000 €**

[1] : Prix appliqués pour les intrants décrits dans le tableau ci-dessous.
[2] : Le prix indiqué comprend le groupe de condensation du biogaz, le container de la cogénération et une torchère.
[3] : Valorisation de la chaleur sur site. Adaptation des installations de chauffage existantes.

Tableau n°24 : *Prix appliqués pour les substrats provenant de l'agriculture, cas de la prison de Marneffe.*

	Prix [€/t_{MF}]	Quantité utilisée [t_{MF}/an]	Prix total [€/an]
Menues pailles	48	374	17.952
Pulpes surpressées de betteraves	20	658	13.160
Feuilles de betteraves	20	658	13.160
Fumier bovin	3	670	2.010
Issues de silos	31	18,7	580
Paille de céréales	68	50	3.400
		2.428,7	**50.262**

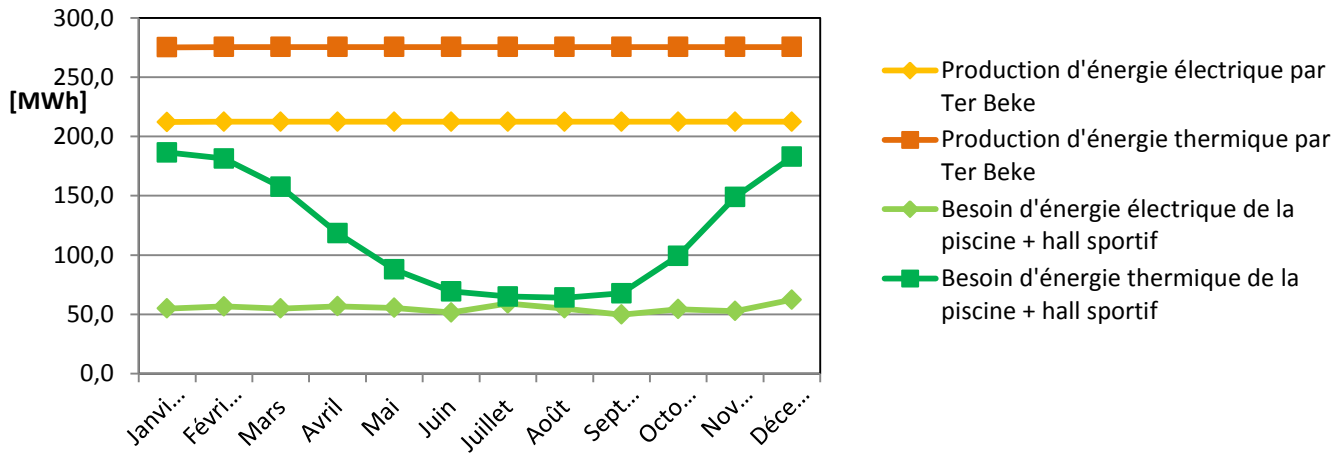
G.5.2. Cas n°2 : L'entreprise Ter Beke, la piscine et le hall sportif

L'entreprise Ter Beke possède l'avantage d'être un gros producteur de substrats méthanisables proches de la ville et des consommateurs d'énergie. Il est possible d'imaginer une synergie entre elle et des consommateurs continus de la commune de Wanze, à savoir la piscine et le hall sportif. Avec les déchets de l'entreprise Ter Beke uniquement (6.867 MWh brut), on pourrait faire tourner une station d'une puissance de 340 kW électrique (il existe des 250 kW électrique et 370 kW électrique). L'installation d'une 370 kW électrique permettrait d'ajouter des substrats provenant des agriculteurs de la région afin d'utiliser la capacité maximale de l'installation. En plus des coproduits de Ter Beke, on pourrait dès lors ajouter des substrats agricoles à raison de 579 MWh brut, ce qui ferai un total de 6.867MWh brut + 579 MWh brut = 7.446 MWh brut.

Si une station est installée près de l'entreprise Ter Beke, il ne reste plus alors que 44.580 MWh brut – 7.446 MWh brut = **37.134 MWh brut** disponible sur le Pays Burdinale Mehaigne.

Les coproduits agricoles utilisés sont estimés à 708 t_{MF}.

Graphique n°6 : *Production d'énergie de l'entreprise Ter Beke et besoins de la piscine et du hall sportif [MWh].*



On remarque que la piscine et le hall sportif ne sont pas capables d'utiliser l'entièreté de l'énergie produite par la station de cogénération. Nous n'avons pas reçu les demandes énergétiques précises de l'entreprise Ter Beke en elle-même mais elles sont suffisamment importantes pour absorber le reste de l'énergie produite. Pour le cas décrit ci-dessous, l'entièreté de l'énergie produite sera donc valorisée.

Tableau n°25 : *Caractéristiques et bilan du cas de Ter Beke, piscine et hall sportif – cogénération.*

Carte d'identité du cas n°2 : Ter Beke, piscine et hall sportif		
Caractéristiques		
~~Réinjection de biométhane~~ / Unité de cogénération		
Puissance électrique de l'unité de cogénération	370 kW	
Intrants valorisés	Les déchets générés par l'entreprise Ter Beke ainsi quelques intrants provenant de l'agriculture pour faire tourner l'unité à son maximum.	
Production de MWh brut	7.446 MWh brut	
Production de MWh électrique	2.755 MWh é	
Production de MWh thermique	3.350 MWh th	
Tonnage annuel des substrats (Ter Beke + intrants agricoles)	3.552tMF + 703 tMF = 4.255 tMF	
Tonnage annuel des digestats	3.863 tMF	
Revenus annuels		
Electricité économisée	100 € * 2.755 MWh é	275.500 €
Vente électricité	40 € * 0 MWh é	0 €
Thermique économisé	27 € * 1.675 MWh th	45.225 €
Vente thermique	30 € * 1.675 MWh th	50.250 €
Gain par les CV	1,9 CV/MWh é * 2.755 MWh é * 65 €/CV	340.242 €
TOTAL		**711.217 €**
Coûts annuels		
Entretien, pilotage, assurances		95.000 €
Prix des intrants[1]		14.513 €
TOTAL		**109.513 €**
Bénéfices annuels		
Revenus annuels - Coûts annuels		**601.704 €**
Investissements		
Stockage des intrants - silos 1200m^3		35.000 €
Digesteur		1.655.000 €
Cogénération – 370 kW[2]		435.000 €
Valorisation de la chaleur – réseau d'eau chaude de 2,5km		464.000 €
Stockage des digestats – lagune 5000m^3		114.000 €
TOTAL		**2.793.000 €**

[1] : Prix des intrants agricoles détaillés dans le tableau ci-dessous.
[2] : Le prix indiqué comprend le groupe de condensation du biogaz, le container de la cogénération et une torchère.

Tableau n°26 : *Prix appliqués pour les substrats provenant de l'agriculture, cas de Ter Beke.*

	Prix [€/t_{MF}]	Quantité utilisée [t_{MF}/an]	Prix total [€/an]
Menues pailles	48	108	5.184
Pulpes surpressées de betteraves	20	191	3.820
Feuilles de betteraves	20	191	3.820
Fumier bovin	3	194	582
Ter Beke	0	3.552	0
Issues de silos	31	5	155
Paille de céréales	68	14	952
		4.255	**14.513**

G.5.3. Cas n°3 : L'entreprise Avieta

L'entreprise Avieta, située à l'extrême est du Pays Burdinale Mehaigne, a un matelas de consommation de 90 MWh électrique et de 170 MWh thermique. Afin de combler sa consommation électrique que l'on considère constante, il faudrait une station d'une puissance de 112kW électrique. Or il n'existe que des stations de 100 ou 150 kW donc la seconde serait choisie dans ce cas. Ce qui nécessiterait, pour tourner à pleine puissance d'avoir 3.018 MWh brut d'intrants.

Etant donné la situation d'Avieta, il serait préférable de promouvoir les agriculteurs de la région est de la Mehaigne.

Si une station est installée près de l'entreprise Avieta, il ne reste plus alors que 37.134 MWh brut – 3.018 MWh brut = **34.116 MWh brut** disponible sur le Pays Burdinale Mehaigne.

Tableau n°27 : *Caractéristiques et bilan du cas d'Avieta.*

Carte d'identité du cas n°3 : Avieta		
Caractéristiques		
~~Réinjection de biométhane~~ / Unité de cogénération		
Puissance électrique de l'unité de cogénération	150 kW	
Intrants valorisés	Tous les types de substrats décrits au point G.1 sauf les coproduits de Ter Beke	
Production de MWh brut	3.018 MWh brut	
Production de MWh électrique	1.116 MWh é	
Production de MWh thermique	1.358 MWh th	
Tonnage de substrats	3.686 tMF	
Tonnage des digestats	2.941 tMF	
Revenus annuels		
Electricité économisée	100 € * 1.080 MWh é	108.000 €
Vente électricité	40 € * 36 MWh é	1.440 €
Thermique économisé	40 € * 1.358 MWh th	54.320 €
Vente thermique	25 € * 0 MWh th	0 €
Gain par les CV	1,8 CV/MWh é * 1.116 MWh é * 65 €/CV	130.572 €
TOTAL		**294.332 €**
Coûts annuels		
Entretien, pilotage, assurances		55.000 €
Prix des intrants[1]		76.243 €
TOTAL		**131.243 €**
Bénéfices annuels		
Revenus annuels - Coûts annuels		**163.089 €**
Investissements		
Stockage des intrants - silos 2400m^3		93.000 €
Digesteur		1.217.000 €
Cogénération – 150 kW[2]		293.000 €
Valorisation de la chaleur		0 €[3]
Stockage des digestats – lagune 2800m^3		70.000 €
TOTAL		**1.673.000 €**

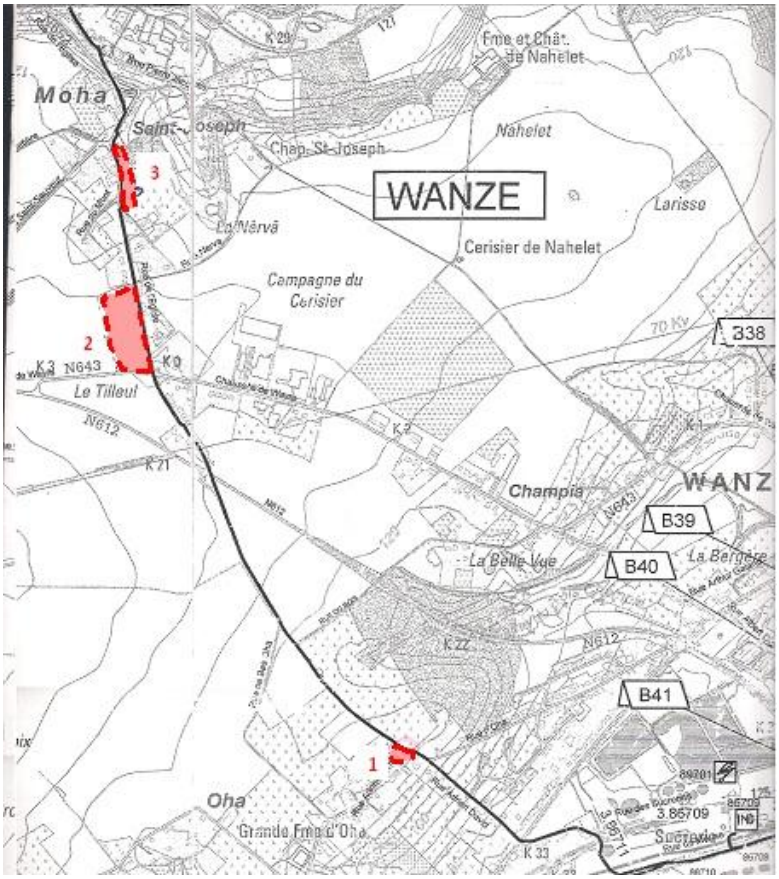
[1] : Prix des intrants agricoles détaillés dans le tableau ci-dessous.
[2] : Le prix indiqué comprend le groupe de condensation du biogaz, le container de la cogénération et une torchère.
[3] : Valorisation de la chaleur sur site. Adaptation des installations de chauffage existantes.

Tableau n°28 : *Prix appliqués pour les substrats provenant de l'agriculture, cas d'Avieta.*

	Prix [€/t_{MF}]	Quantité utilisée [t_{MF}/an]	Prix total [€/an]
Menues pailles	48	568	27.264
Pulpes surpressées de betteraves	20	999	19.980
Feuilles de betteraves	20	999	19.980
Fumier bovin	3	1.017	3.051
Issues de silos	31	28	868
Paille de céréales	68	75	5.100
		3.686	**76.243**

G.5.4. Cas n°4 : Une station supplémentaire

Malgré le fait d'installer 3 stations, respectivement à la prison de Marneffe, près de l'entreprise Ter Beke et près de l'entreprise Avieta, on remarque que la région garde encore un potentiel en substrats méthanisables de l'ordre de 34.116 MWh brut. Avec une telle quantité, il est possible de faire tourner une station d'une puissance électrique de l'ordre de 1,45 MW, ce qui correspond encore à une grosse station. Néanmoins, il n'y a pas de gros consommateurs d'énergie dans ces régions qui seraient capables d'absorber toute l'énergie produite. Il serait alors intéressant de réinjecter le biométhane sur le réseau de gaz. De cette manière, il pourrait être produit 3.411.600 m^3_{CH4}/an. Il est important de garder à l'esprit qu'en Belgique, il n'est pas encore courant de réinjecter du biométhane sur le réseau. Les procédures existent depuis peu, c'est pourquoi aucun cas de réinjection n'a encore été réalisé à l'heure actuelle.
Au niveau de la localisation, les producteurs de substrats ainsi que la position du réseau de gaz influenceraient le choix. Si on observe la figure suivante, on observe 3 zones probables d'installation d'unités de biométhanisation le long du réseau 15 bars géré par Fluxis.



Le site n°1 appartient à un agriculteur. Le n°2 est composé de plusieurs terrains actuellement à vendre. Il se situe à l'entrée du zoning industriel et proche de la chaussée de Wavre. Le N°3 est composé de plusieurs propriétés privées.

Figure n°14 *: Localisation des ressources en substrats méthanisables et des consommateurs énergétiques sur le Pays Burdinale Mehaigne.*

CONFIDENTIEL

Tableau n°29 : *Caractéristiques et bilan de l'installation d'une station supplémentaire – réinjection de biométhane.*

Carte d'identité du cas n°4 : Station supplémentaire		
Caractéristiques		
Réinjection de biométhane / ~~Unité de cogénération~~		
Intrants valorisés	Tous les types de substrats décrits au point G.1 sauf les coproduits de Ter Beke	
Production de MWh brut	34.116 MWh brut	
Production de m^3_{CH4}/h	389 m^3_{CH4}/h	
Tonnage de substrats	41.712 tMF	
Tonnage des digestats	33.366 tMF	
Revenus annuels		
Electricité économisée	100 € * 0 MWh é	0 €
Vente électricité	40 € * 0 MWh é	0 €
Thermique économisé	40 € * 0 MWh th	0 €
Vente thermique	25 € * 0 MWh th	0 €
Gain par les CV	1,5 CV/MWh é * 0 MWh é * 65 €/CV	0 €
Gain valorisation de biométhane (avec certificat d'origine)	80 € * 34.116 MWh brut	2.729.280 €
TOTAL		**2.729.280 €**
Coûts annuels		
Entretien, pilotage, assurances		550.000 €
Prix des intrants[1]		863.224 €
TOTAL		**1.413.224 €**
Bénéfices annuels		
Revenus annuels - Coûts annuels		**1.316.056 €**
Investissements		
Stockage des intrants - silos 23000m^3		600.000 €
Digesteur		4.274.000 €
Réinjection de biométhane		2.000.000 € (épuration) et 143.000 € (poste d'injection)
Valorisation de la chaleur		0 €
Stockage des digestats – lagune 30000m^3		428.000 €
TOTAL		**7.445.000 €**

[1] : Prix des intrants agricoles détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°30 : *Prix appliqués pour les substrats provenant de l'agriculture, cas d'une station supplémentaire.*

	Prix [€/t_{MF}]	Quantité utilisée [t_{MF}/an]	Prix total [€/an]
Menues pailles	48	6.428	308.544
Pulpes surpressées de betteraves	20	11.300	226.000
Feuilles de betteraves	20	11.300	226.000
Fumier bovin	3	11.507	34.521
Issues de silos	31	321	9.951
Paille de céréales	68	856	58.208
		41.712	**863.224**

H. SYNTHESE

Cette étude a été réalisée dans le but d'observer le potentiel du Pays Burdinale Mehaigne à recevoir une installation de biométhanisation. Pour ce faire, les principaux substrats disponibles sur la région ont été décrits ainsi que les consommateurs importants d'énergie thermique et électrique. Après l'étude de leur localisation et le choix de substrats réellement mobilisables, différents scénarii ont été proposés ainsi qu'un dimensionnement plausible.
Afin de visualiser ces différents scenarii et de les comparer, voici un tableau récapitulatif reprenant les investissements et les retours sur investissement en fonction du pourcentage de subsides.

Tableau n°31 : *Comparaison financière des quatre scenarii proposés pour le Pays Burdinale Mehaigne*.

				Prison de Marneffe				Ter Beke + piscine + hall sportif				Avieta				Station supplémentaire			
Investissement				1.515 k€				2.793 k€				1.673 k€				7.445 k€			
Bénéfices annuels				102 k€				602 k€				163 k€				1.316 k€			
Retour sur investissement																			
% de subsides				Années				Années				Années				Années			
0%	10%	20%	30%	14,8	13,4	11,8	10,4	4,6	4,2	3,7	3,2	10,3	9,2	8,2	7,2	5,6	5,1	4,5	4
Ordre de rentabilité				**4**				**1**				**3**				**2**			

Les prix appliqués dans le cadre de cette étude sont indicatifs et sont susceptibles de varier dans le cas d'une étude plus approfondie. Néanmoins, on remarque que deux des quatre projets sont susceptibles d'être rentabilisés en 4 et 5 ans sans subventions, à savoir le cas de Ter Beke + piscine + hall sportif et la station supplémentaire. Avieta vient en troisième position avec 10,3 ans de retour sur investissement, suivi par le cas de la prison de Marneffe avec 14,8 ans sans subventions.

Etant donné le caractère favorable du cas de Ter Beke, l'entreprise a manifesté un intérêt à la biométhanisation et un premier contact a été pris avec Greenwatt afin d'étudier leur cas plus en détails.

Dans le cas d'étude de faisabilité, les tenant et aboutissant du projet sont minutieusement étudiés de manière à optimiser l'installation d'une station de biométhanisation ainsi qu'à apporter des éléments permettant d'améliorer sa rentabilité. Les quatre projets présentés ici sont réalisables et pourraient être améliorés. Certains cas devront juste être plus optimisés que d'autres.

Il est à noter que pour le scénario d'une station supplémentaire avec réinjection sur le réseau, le Chargé de mission (Frédéric Praillet) va rencontrer Tecteo, réseau de distribution sur la région étudiée. Cette rencontre pourrait encore apporter des informations supplémentaires pour la possibilité de réinjection de biogaz sur le réseau de gaz naturel.

En conclusion à cette étude, on remarque que la région possède un potentiel important pour la biométhanisation de par sa quantité importante en surfaces agricoles d'une part et en entreprises consommatrices d'énergie d'autre part. L'entièreté de la région peut générer de l'ordre de 50.000 MWh brut. Cette valeur est susceptible d'augmenter car la confiance des agriculteurs dans la biométhanisation sera grandissante dès lors qu'une station aura vu le jour dans la région.

Le support de présentation PPT figurant en ANNEXE 2 résumera de manière synthétique le contenu de cette étude et ses conclusions.

I. BIBLIOGRAPHIE

[1] http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/calend_paru_gcult.pdf
[2] http://www.coopenergie.com/fichescoop/silos.pdf
[3] http://www.ale08.org/IMG/pdf/Etude_Gisement_vFinale.pdf
[4] http://www.ardennes.chambagri.fr/uploads/media/Engraissement_JB_02_12.pdf
[5] http://www.euromais.fr/fr/france/pdf/pdf-poster/Atelier4ab-Utilisations/Atelier4ab-UtilisationsFRANCAIS.pdf
[6] Michel Bughin, Bioingénieur du CETA de Thuin.
[7] Thierry Cruysmans, co-gérant du Réseau de Biogaz du Haut Geer.
[8] IRBAB, Institut royal belge pour l'amélioration de la betterave.
[9] http://www.ajol.info/index.php/cajeb/article/view/73740
[10] http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/INPHO/VLIBRARY/X0164F/FR/X0164F0Y.HTM
[11] http://www.fadq.qc.ca/assurances_et_protection_du_revenu/assurance_stabilisation/programme/productions_couvertes/cereales_mais_grain_et_oleagineux_avril_2011.html
[12] http://www.loir-et-cher.chambagri.fr/fileadmin/images/ENVIRONNEMENT/Dechets/exp._maraichage/fiche7-dechets-fr-leg.pdf
[13] http://www.nitrawal.be/61-cipan.htm
[14] http://polebiomasseenergie.fr/dmdocuments/F15_Production_tourteau_et_HVP.pdf
[15] http://lbewww.epfl.ch/DA/JEANMAIRE_1999/1fumiers.htm
[16] http://books.google.be/books?id=M66_Lr0heV4C&pg=PA93&lpg=PA93&dq=r%C3%A9colte+de+fanes+pommes+de+terre+t/ha&source=bl&ots=arloX0aAa7&sig=gbMGMWSnyt421-UBVYtCtik-dGw&hl=fr&sa=X&ei=qglkULXDK4jKsgbztoDYBA&sqi=2&ved=0CB8Q6AEwAA#v=onepage&q=r%C3%A9colte%20de%20fanes%20pommes%20de%20terre%20t%2Fha&f=false
[17] : http://www.google.be/imgres?hl=fr&sa=X&biw=1092&bih=533&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=XcKJcLDD5ZeA5M:&imgrefurl=http://www.connaissancedesenergies.org/qu-est-ce-que-la-cogeneration&docid=ZLZPt847sVpVYM&imgurl=http://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/cogeneration-zoom.png&w=850&h=373&ei=z1hpUNDOKNSYhQfY9IDoAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=717&vpy=185&dur=21478&hovh=149&hovw=340&tx=139&ty=71&sig=105652912238871887290&page=1&tbnh=100&tbnw=225&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:3,s:0,i:79
[18] http://energiedurable.free.fr/blog/index.php/2006/10/19/12-la-cogeneration
[19] : http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/Rapport_definitif_CRE_10.pdf
[20] : http://www.belgium.be/fr/actualites/2011/news_statistiques_menages.jsp
[21] : http://www.lecho.be/actualite/economie_politique_belgique/Le_Belge_roule_15_649_km_par_an.9178795-3154.art?ckc=1
[22] : http://www.gazpillage.com/comment-choisir-entre-essence-gpl-et-diesel.html
[23] : http://www.nordeclair.be/actualite/societe/2010-09-02/en-belgique-on-compte-une-voiture-pour-deux-habitants-808026.shtml
[24] Un ménage : 5,3 MWh é/an et 15 MWh therm/an.
[25] : http://www.geog.umontreal.ca/geotrans/fr/ch3fr/conc3fr/commercialplanesfr.html

J. ANNEXES

Annexe 1 : Valorisation énergétique des menues pailles – Delphine Robinet.
Annexe 2 : Support de présentation